



---

# **ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ, OBOR KONSTRUKCE A DOPRAVNÍ STAVBY**

**KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Zesilování stávajících betonových mostů**

**Strengthening of existing concrete bridges**

Vedoucí práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

**BC. PAVEL SOCHOR**

Praha 2018



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Sochor	Jméno: Pavel	Osobní číslo: 410740
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zesilování existujících betonových mostů	
Název diplomové práce anglicky: Strengthening of existing concrete bridges	
Pokyny pro vypracování: <ul style="list-style-type: none"><li>- základní metody zesilování betonových mostních konstrukcí</li><li>- zásady navrhování zesílení a stanovení odolnosti</li><li>- studie aplikace zesílení na vybraných konstrukcích a vyhodnocení jejich efektivity</li></ul>	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: ing. Michal Drahorád, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 20.2.2018	Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

## **Čestné prohlášení**

**Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma zesilování existujících betonových mostů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.**

**V Praze dne**

**Podpis: .....**

# Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Drahorádovi, PhD. za jeho odborný dohled, věcné nápady a čas strávený konzultacemi. Děkuji také všem ostatním, kteří přispěli k vypracování této práce.

# Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá popisem a vyhodnocením efektivity základních metod zesílení existujících betonových mostů. V rámci studie jsou vybrány a navrženy typické mostní konstrukce, na které se aplikují metody zesílení. Jako základní metody zesilování jsou uvažovány: spřažená železobetonová deska, lepená FRP výztuž (Fiber Reinforced Polymers) a externí předpětí. Měřítkem pro vyhodnocení jednotlivých metod je zatížitelnost konstrukce. Výsledkem je vyhodnocení jednotlivých metod a doporučení pro jejich aplikaci.

**Klíčová slova:** Zesílení betonových existujících mostů, spřažená železobetonová deska, externí předpětí, FRP výztuž

# Abstract

This dissertation discusses and evaluates the effectivity of basic methods of strenghtening of existing concrete bridges. The current study selects and designs typical bridge constructions to which methods of strenghtening are applied. The following basic metods of strenghtening are considered: mixed reinforced concrete slab, glued FRP reinforcement, and external prestressing. The criterion for evaluating individual methods is the construction loading capacity. The results include evaluating individual methods and recommendations regarding their application.

**Key words:** Strengthening of existing concrete bridges, mixed reinforced concrete slab, external prestressing, FRP reinforcement

# Obsah

1. Úvod .....	- 1 -
2. Cíl práce .....	- 2 -
3. Technologie zesilování .....	- 3 -
3.1 Spřažená železobetonová deska.....	- 3 -
3.1.1 Princip zvýšení únosnosti .....	- 3 -
3.1.2 Smršťování a dotvarování.....	- 5 -
3.1.3 Provádění .....	- 6 -
3.1.4 Shrnutí výhod a nevýhod .....	- 7 -
3.2 Externí předpětí.....	- 7 -
3.2.1 Princip zvýšení únosnosti .....	- 7 -
3.2.2 Provádění .....	- 9 -
3.2.3 Shrnutí výhod a nevýhod .....	- 10 -
3.3 Externí lepená výztuž .....	- 10 -
3.3.1 Technologie FRP .....	- 10 -
3.3.2 Provádění .....	- 13 -
3.3.3 Shrnutí výhod a nevýhod .....	- 14 -
4. Návrh typických mostů.....	- 15 -
4.1 Materiály.....	- 15 -
4.2 Trámové mosty – prostý nosník .....	- 15 -
4.2.1 Stálé zatížení .....	- 17 -
4.2.2 Proměnné zatížení .....	- 17 -
4.2.3 Vnitřní síly .....	- 18 -
4.2.4 Návrh a posouzení.....	- 22 -
4.3 Trámové mosty – spojitý nosník.....	- 26 -
4.3.1 Stálé zatížení .....	- 27 -
4.3.2 Proměnné zatížení .....	- 28 -
4.3.3 Vnitřní síly .....	- 28 -
4.3.4 Návrh a posouzení.....	- 33 -
4.4 Deskové mosty.....	- 40 -
4.4.1 Stálé zatížení .....	- 41 -
4.4.2 Proměnné zatížení .....	- 41 -
4.4.3 Vnitřní síly .....	- 42 -
4.5 Rámové mosty .....	- 47 -
4.5.1 Stálé zatížení .....	- 48 -

4.5.2	Proměnné zatížení .....	- 50 -
4.5.3	Vnitřní síly .....	- 50 -
5.	Zatížitelnost před zesílením .....	- 58 -
5.1	Zatěžovací schéma .....	- 59 -
5.2	Trámové mosty – prostý nosník .....	- 59 -
5.3	Trámové mosty – spojitý nosník.....	- 63 -
5.4	Deskové mosty.....	- 69 -
5.5	Rámové mosty .....	- 71 -
6.	Zesílení nabetonovanou deskou .....	- 75 -
6.1	Trámové mosty – prostý nosník .....	- 76 -
6.2	Trámové mosty – spojitý nosník.....	- 78 -
6.3	Deskové mosty.....	- 81 -
6.4	Rámové mosty .....	- 82 -
7.	Zesílení lepenou FRP výztuží.....	- 83 -
7.1	Materiálové charakteristiky.....	- 85 -
7.2	Trámové mosty – prostý nosník .....	- 85 -
7.3	Trámové mosty – spojitý nosník.....	- 91 -
7.4	Deskové mosty.....	- 95 -
7.5	Rámové mosty .....	- 99 -
8.	Zesílení externím předpětím.....	- 103 -
8.1	Materiálové charakteristiky.....	- 104 -
8.2	Trámové mosty – prostý nosník .....	- 104 -
8.3	Trámové mosty – spojitý nosník.....	- 109 -
8.4	Deskové mosty.....	- 118 -
8.5	Rámové mosty .....	- 123 -
9.	Výsledky: Porovnání zatížitelností.....	- 123 -
9.1	Trámové mosty – prostý nosník .....	- 123 -
9.2	Trámové mosty – spojitý nosník.....	- 125 -
9.3	Deskové mosty.....	- 126 -
9.4	Rámové mosty .....	- 127 -
10.	Závěr.....	- 129 -
	Seznam použité literatury .....	- 132 -
	Seznam tabulek.....	- 133 -

# 1.Úvod

Mostní stavby byly vždy považovány za kulturní dědictví lidstva. Již po mnoho tisíc let jsou důležitou součástí všech druhů dopravních komunikací. V poslední době je plánovaná životnost mostních konstrukcí 100 let, ale i ta bývá u dopravně významných přemostění velmi často překročena, což dokazuje mnoho případů z historie. Pravdou je, že dobře navržený a udržovaný most je schopný splňovat svůj účel po mnoho generací. To však vyžaduje pravidelné prohlídky a včasné opravy. Zanedbání těchto úkonů má za následek postupné chátrání, které může vést k omezení dopravy, či úplnému uzavření mostu.

Stále se zhoršující stav mostů je v České Republice časté téma na diskuzních seminářích. Již v roce 1996 byl předložen Ředitelstvím silnic a dálnic „Plán oprav mostních objektů...” s předpokládaným časovým horizontem pěti let. K uskutečnění tohoto plánu bohužel z finančních důvodů nedošlo. I následná mnohá opakovaná upozornění na skutečnosti o nevyhovujícím stavu mostů v ČR, se nesetkala s patřičným ohlasem u kompetentních orgánů. To se odrazilo v přetrvávajícím nedostatečném financování oprav [1].

V posledních přibližně deseti letech se finanční situace zlepšila, avšak neustále roste počet nových mostů a tím i vyšší potřeba údržby. Z grafu 1, pocházejícího z Odborného semináře mostních inženýrů 2018 vyplývá, že stav mostů na komunikacích druhých a třetích tříd, se v uplynulých letech neustále zhoršuje. Na druhou stranu na mostech dálničních a na komunikacích prvních tříd se situace zlepšuje, což je ovlivněno také výstavbou nových mostů [2].

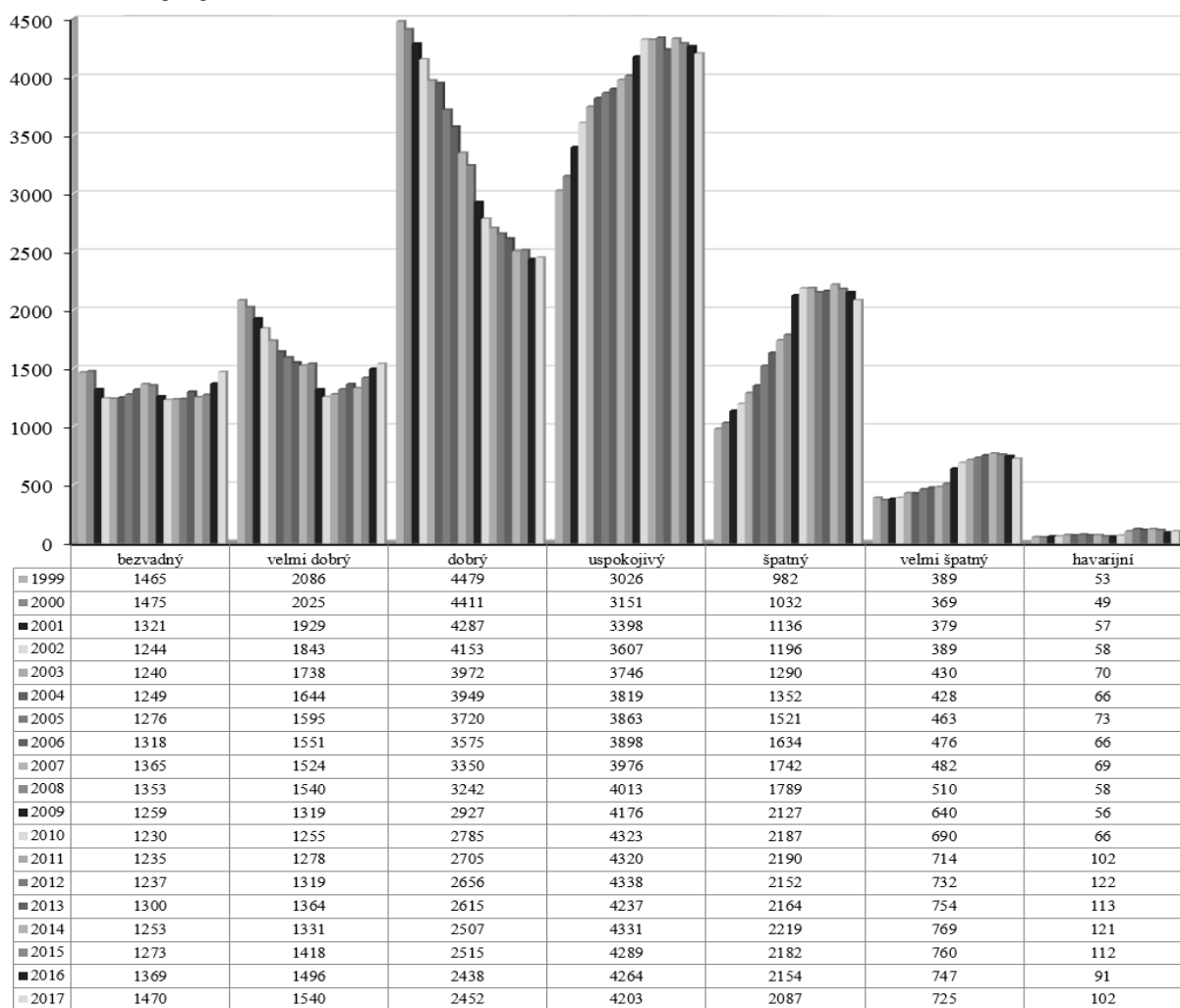
Současný nevyhovující stav mnoha mostů má na svědomí řada faktorů, mezi které patří hlavně stáří staveb, rozdílná životnost použitých materiálů, zvětšené požadavky na působící zatížení a zanedbaná údržba. Dalšími faktory mohou být například nedostatky v projektu, chyby učiněné během výstavby, nekvalitní izolační systémy, škody způsobené nenadálými příhodami (nehody, záplavy...), zanedbaná kontrolní činnost a tak dále.



Vzhledem k výše popsaným skutečnostem je zřejmé, že v blízké budoucnosti budou třeba opravy a v mnoha případech i zesílení stávající konstrukce. Důvody zesílení konstrukcí jsou z pravidla spojeny s rostoucím dopravním provozem. Zde přichází otázky, které vedly k vytvoření této diplomové práce: Jaké jsou možnosti zesilování betonových mostních konstrukcí? V čem se liší? Na čem závisí výběr vhodné technologie?

Tématem této práce je tedy popsání a následné porovnání metod zesílení stávajících betonových mostů.

Graf 1 - vývoj stavu mostních konstrukcí [2]



## 2. Cíl práce

Cílem práce je popsat a vyhodnotit základní metody zesilování existujících betonových mostních konstrukcí. V první části formou rešerše shrnout základní principy jednotlivých metod, určit jejich výhody a nevýhody a stručně popsat

kroky při výstavbě. Ve druhé části budou všechny metody aplikovány na typické železobetonové mosty o různých rozpětích a rozdílných statických uspořádáních. Hlavním výstupem této práce bude porovnání jednotlivých metod, tedy vyhodnocení jejich efektivity pro různé typy mostů.

## 3. Technologie zesilování

V této kapitole budou uvedeny jednotlivé metody a možnosti zesilování teoretickou formou. Pro každou technologii zde bude popsán způsob výpočtu, možnosti aplikace, výhody, nevýhody a také příklady z realizace. Bylo by také vhodné uvést, že veškeré jmenované technologie mohou být použity pouze v případě, že to dovolí stav mostovky a spodní stavba mostu. Je také možné nejdříve provést sanaci konstrukce a poté její zesílení, pokud to stav mostovky umožní. Sanace a opravy mostů nejsou tématem této práce.

### 3.1 Spřažená železobetonová deska

První možností, kterou práce popisuje, je zesílení stávající mostní konstrukce spřaženou železobetonovou deskou. Mluvíme-li o betonových mostech a jejich zesílení, bude toto spřažení typu beton-beton.

#### 3.1.1 Princip zvýšení únosnosti

Princip zesílení spřaženou železobetonovou deskou spočívá v tom, že po vytvrdnutí nabetonávky se zvětší průřezová plocha a tím zároveň rameno vnitřních sil. Nabetonovaná deska také přenáší část účinku od proměnného zatížení. Jestliže se zesílení provede na prostém nosníku, bude v desce pouze tlakové namáhání a bude zde působit plocha tlačného betonu a plocha tlačné výztuže desky. V případě spojitých nosníků se v nadpodporové části vyskytuje v desce tahové napětí a v takovém případě přenáší zatížení pouze výztuž desky. Obecně beton přenáší pouze malá tahová napětí, v mezním stavu únosnosti zavádíme předpoklad, že tažený beton se do únosnosti nezapočítá [3]. V poli spojitých nosníků je stejně jako na prostém nosníku betonová deska tlačena. K napětí ve spřažené desce musíme však připočítat vliv smrštění. V této práci bude uvažováno, že beton zesilované konstrukce již nesmršťuje. Vzhledem

k předpokládanému stáří zesilovaných konstrukcí je to bezpečný předpoklad a do výpočtu vnáší pouze minimální chybu.

Aby mohlo dojít k přenosu zatížení do spřažené desky, je nutné ji náležitě spojit se stávající konstrukcí. Takové spojení musí dle [3] splnit podmínku:

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

$V_{Edi}$  je návrhová hodnota smykového napětí ve styčné ploše, je dána vztahem:

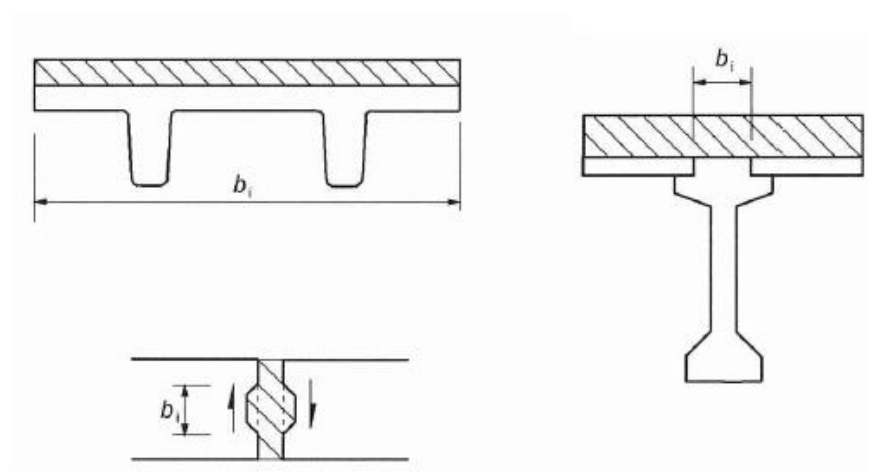
$$V_{Edi} = \beta V_{Ed} / (z b_i)$$

$\beta$  ... poměr podélné síly v ploše dobetonovaného průřezu k celkové podélné síle, buď v tlačené nebo v tažené oblasti průřezu, obě síly jsou počítány pro uvažovaný průřez

$V_{Ed}$  ... posouvající síla

$Z$  ... rameno vnitřních sil

$b_i$  ... šířka styčné plochy



Obrázek 1 - styčné plochy [4]

$V_{Rdi}$  ... návrhová únosnost ve smyku styčné plochy, je dána vztahem:

$$V_{Rdi} = c f_{ctd} + \mu \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 v f_{cd}$$

$c, \mu$  ... součinitelé závislé na drsnosti styčné plochy, hodnoty převzaty z připravované verze normy PT1prEN 1992-1-1:2017-10

Tabulka 1 - součinitelé drsnosti [4]

Surface roughness	$c_{v1}$	$\mu_v$
very smooth	0.025	0.5
smooth	0.2	0.6
rough	0.4	0.7
very rough	0.5	0.9
keyed	1.0	0.9

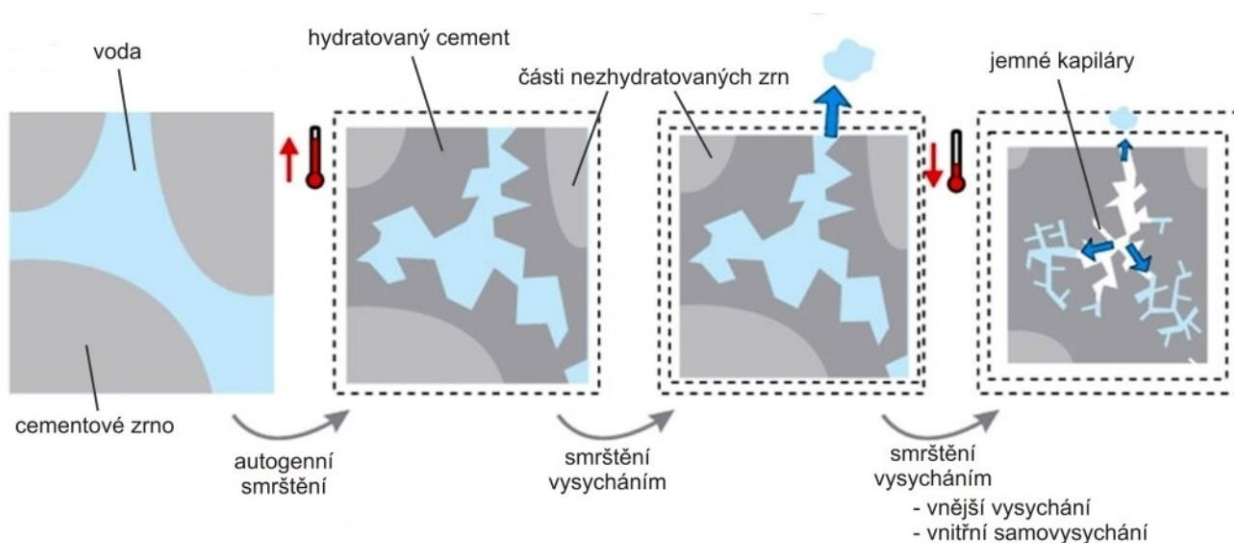
### 3.1.2 Smršťování a dotvarování

Smršťování a dotvarování jsou v odborných kruzích známé pojmy, jedná se o objemové změny betonu. Tyto změny se také často nazývají jako reologické jevy betonu.

Obecně mají na smršťování a dotvarování betonu vliv zejména:

- Složení betonu z hlediska obsahu cementu, jemnosti mletí, vodního součinitele a zrnitosti kameniva
- Hutnost betonu a jeho pevnost
- Vlhkost okolního prostředí betonu
- Rozměry a tvar průřezu, které obvykle charakterizuje plocha a obvod průřezu

**Smršťování** probíhá ze dvou důvodů. Prvním důvodem je to, že objem složek čerstvého betonu, tedy před hydratací, je větší než výsledný objem tvrdého (tuhého) betonu. Tento jev se nazývá autogenní neboli chemické smršťování. Druhým důvodem je únik vody z betonu. Jestliže voda unikne před začátkem tuhnutí, tedy z čerstvého betonu, jedná se o plastické smršťování. Pokud voda uniká naopak po začátku tuhnutí a tvrdnutí, tak jde o vysychání betonu. Smršťování je nedílnou součástí tuhnutí betonu a je prakticky nemožné mu úplně zabránit. Snažíme se ale jeho účinky minimalizovat – například úpravou složení čerstvého betonu, vhodným ošetřováním a betonáží za přijatelných klimatických podmínek [5].



Obrázek 2 – smršťování betonu [5]

Jak již bylo zmíněno, v této práci se předpokládá, že mostovka stávající konstrukce již nesmršťuje. Důležité z hlediska namáhání je smršťování čerstvého betonu spřažené železobetonové desky. Jelikož je smršťování (zkracování) desky zabráněno spřahující výztuží, v desce vznikne přídatné tahové napětí.

**Dotvarování** betonu je zpožděná deformace způsobená plastickým přetvořením betonu za působení dlouhodobého zatížení. Zjednodušeně řečeno, je to vzrůstající deformace za stále stejného napětí v betonu. Deformace závisí na faktorech uvedených výše v textu a zejména také na stáří zatěžovaného betonu a velikosti zatížení. Dotvarování podléhají pouze zatížené konstrukce. Pro tuto práci to tedy znamená, že deska nedotvarovává, neboť je po celou dobu v celé délce podepřena nosnou konstrukcí stávajícího mostu. Dotvarování má vliv na mostovku konstrukce. Jeho velikost, jak už bylo uvedeno, však závisí na stáří betonu. V této práci bude předpokládáno, že dotvarování nemá zásadní vliv na momentovou únosnost.

### 3.1.3 Provádění

Nejprve musíme obnažit nosnou konstrukci mostu. Dále je třeba provést dostatečnou úpravu povrchu nosné konstrukce (NK). Následně se postaví bednění desky, do kterého se vyváže výztuž. Výztuž desky se provádí se spřahovací výztuží. Poté se deska vybetonuje a příštích dnech probíhá její ošetřování. Z výše zmíněného textu vyplývá hlavní nevýhoda tohoto systému. Je to nutnost zvýšit konstrukci o tloušťku desky a tím i zvednutí nivelety převáděné komunikace.



Obrázek 3 - příprava povrchu

### 3.1.4 Shrnutí výhod a nevýhod

Výhody:

- Technologicky nenáročná aplikace
- Poměrně levné a dostupné materiály
- V praxi často používaná (dostatek zkušeností)
- Není nutný přístup ke spodní části mostovky

Nevýhody:

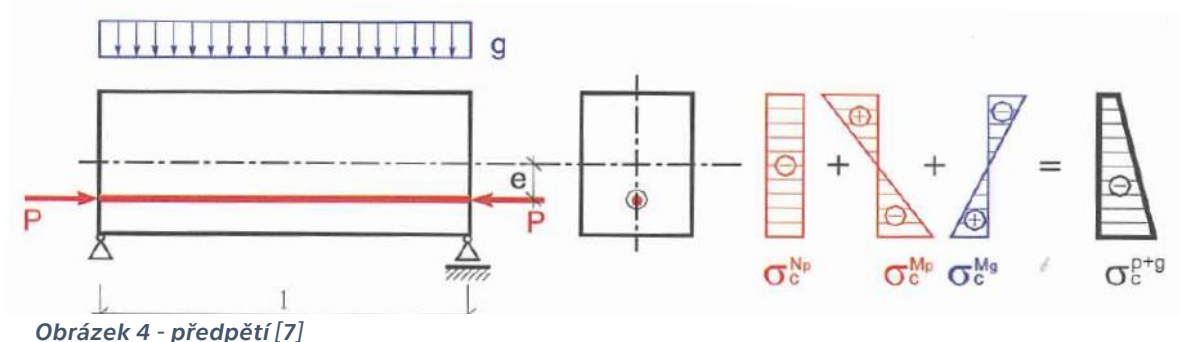
- Mokřý proces – nutnost delšího uzavření přemostění
- Nabetonávka zvýší stavební výšku mostu – změna nivelety komunikace
- Stávající souvrství na mostě musí být před zesílením odstraněno (cena)

## 3.2 Externí předpětí

Druhou možností zesílení popsané v této práci je externí předpětí. Počátky předpínání betonu datujeme do konce devadesátých let 19. století. Pro předepnutí se tehdy použila běžná betonářská výztuž. Po několika pokusech bylo zjištěno, že počáteční tlakové napětí z betonu vymizelo. Důvodem byla nedostatečná pevnost oceli. V důsledku smršťování a dotvarování betonu došlo ke zkrácení betonového prvku natolik, že „slabá“ ocel již neobsahovala téměř žádné napětí, které do ní bylo vneseno. Na začátku 20. století bylo technologicky možné použít předpínací dráty o vysoké pevnosti. Poté nastal prudký rozvoj předpjatých konstrukcí na celosvětové úrovni [7].

### 3.2.1 Princip zvýšení únosnosti

Na tomto místě bude zkráceně shrnuto fungování předpětí. Předpjatý beton je beton, do kterého záměrně vnášíme vnitřní síly pomocí předpínacích



lan nebo tyčí. Ve většině případů se těmito vnesenými silami snažíme vyrovnat vnější zatížení (např. vlastní tíhu konstrukce). Toho docílíme vhodně volenou trasou vedení předpínacího kabelu a velikostí vnesené síly. Předpětím tedy aktivně měníme rozložení vnitřních sil v konstrukci.

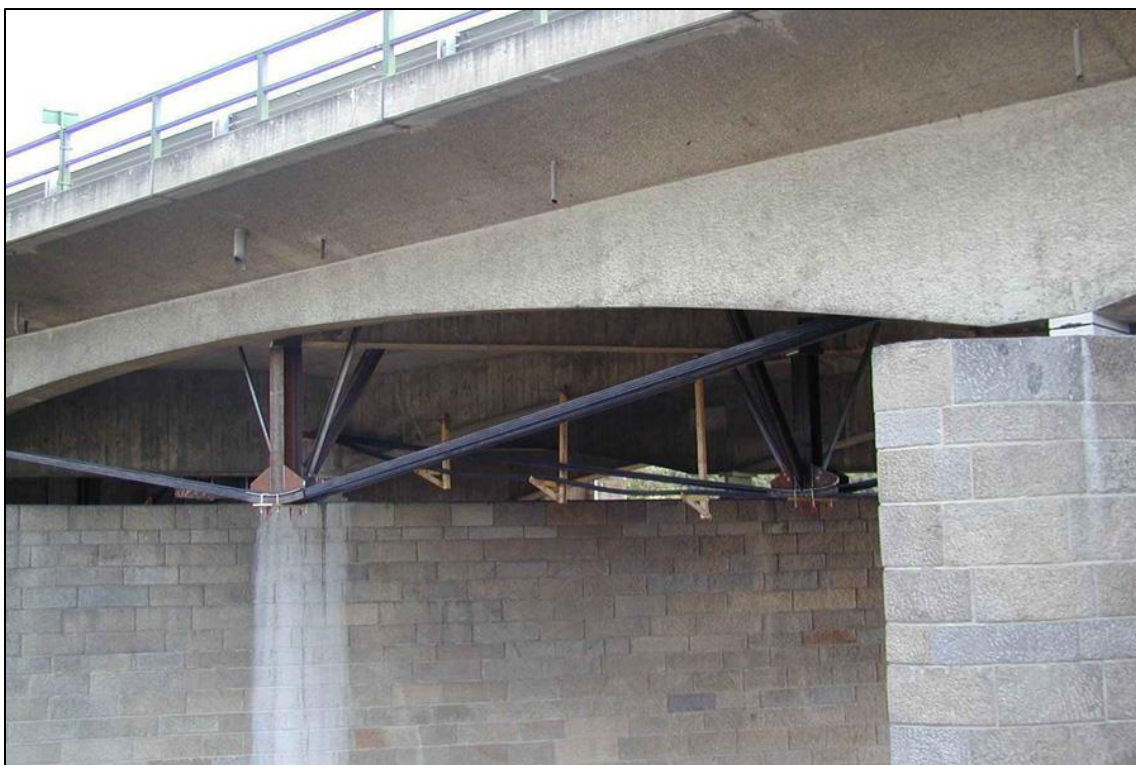
Předpjatý prvek je díky vnesené tlakové rezervě tužší než železobeton, a kvůli tomu má menší protažení (v případě ohýbaných prvků průhyby). Proto je možné při stejných požadavcích na mezní deformace navrhovat předpjaté konstrukce štíhlejší, s menší průřezovou výškou a větším rozpětím. Při zmenšování výšky průřezu dochází ke snížení vlastní tíhy. Tím roste úspora materiálu a v důsledku toho i další zvětšování rozpětí. K další úspoře dochází i na příčné výztuži, neboť jak je známo z teorie pružnosti, se zvyšujícím se tlakovým normálovým napětím se snižuje hlavní napětí v tahu [7].

Obecně se předpjatý beton dělí na předem a dodatečně předpjatý.

U **předem předpjatého betonu** se nejprve napne a dočasně zakotví předpínací výztuž, až poté dojde k vybetonování prvku do formy nebo na dlouhé dráze. Po vytvrdnutí betonu se kotvy s výztuží uvolní, čímž dojde k vnesení předpínací síly do betonu, přičemž je výztuž kotvena soudržností s betonem. Tento způsob vnesení předpětí se nemůže uplatnit při zesilování stávajících konstrukcí, kde je betonový prvek již zhotoven.

Prvky z **dodatečně předpjatého betonu** se nejprve vybetonují, až po jeho zatvrdnutí se napne a trvale zakotví předpínací výztuž pomocí kotevního zařízení. Důležitou součástí dodatečně předpjatého betonu je předpínací kabel, který se používá pro označení samostatné předpínací jednotky. Buď značí samostatný drát či lano, nebo častěji skupiny drátů potažmo skupinu lan. Ochranu kabelu tvoří kabelový kanálek. Tento kanálek může být injektován cementovou maltou. Samostatným typem předpínací výztuže dodatečně předpjatého betonu je externí předpínací výztuž, nazývána také jako volné kabely. Tyto kabely procházejí volně mimo průřez konstrukce. S nosnou konstrukcí jsou spojeny v tzv. deviátorech, ve kterých se mění směr kabelů. Zde pak dochází k přenosu sil z předpětí do konstrukce. Tento typ předpětí je využíván (nejen) k dodatečnému zesilování konstrukcí.





Obrázek 5 - externí předpětí příklad [8]



Obrázek 6 - externí předpětí příklad 2

### 3.2.2 Provádění

Na stávajícím mostě se nejprve vytvoří kotevní bloky (příčníky). U trámových mostů bývají tyto příčníky již ve stávající konstrukci. Poté se na konstrukci připevní deviátory. Do takto připravené dráhy se umístí předpínací lana a na závěr se konstrukce předepne.



### 3.2.3 Shrnutí výhod a nevýhod

Výhody:

- Sílu i vedení předpětí je možné optimalizovat
- Po vnesení předpětí je únosnost zajištěna okamžitě

Nevýhody:

- Technologicky náročné provedení
- Možné problémy v kotevních oblastech
- Nutný přístup ke spodní straně mostovky – omezení dopravy pod mostem
- Ve většině případů neestetické

## 3.3 Externí lepená výztuž

Jako externí lepená výztuž se používají kompozitní materiály. Nápad kombinovat dva různé materiály, aby vznikl jeden s lepšími vlastnostmi, není zdaleka nový. Z kompozitních materiálů byly postaveny některé z nejstarších dochovaných staveb. Například Egypťané vyztužovali cihly slámou, aby zvýšili jejich pevnost. V současnosti se jako kompozitní materiál používají polymery vyztužené vlákny (FRP – Fiber Reinforced Polymers) [9].

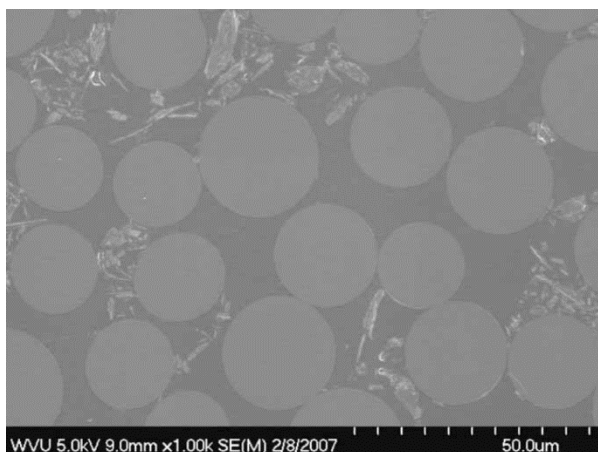
### 3.3.1 Technologie FRP

FRP kompozity můžeme popsat jako dvousložkový materiál – nosná složka ve formě jednosměrně orientovaných vláken a pojivová složka, kterou tvoří polymerní matrice. Vlastnosti FRP kompozitu jsou ovlivněny typem a poměrem obou těchto složek. Velmi významnou vlastností kompozitních výztuží, plynoucí z jejich fyzikální podstaty, je ortotropní chování. To znamená, že se materiálové charakteristiky výztuže mění vzhledem ke směru namáhání. Ve směru orientace nosných vláken určují vlastnosti zejména vlákna. Naopak ve směru kolmo na vlákna je rozhodující částí výhradně matrice. Je zřejmé, že jelikož jsou vlákna hlavním nosným prvkem, tak i pevnost (tahová) v jejich směru je výrazně vyšší, a to asi 10x až 100x než ve směru kolmo na vlákna [10].

Další velice důležitou vlastností všech typů vláken je, že jsou lineárně elastické a křehce lámavé. Pracovní diagram kompozitu má tedy lineární průběh s křehkým lomem při dosažení maximálního napětí [10]. Nevýhodou

kompozitních materiálů je to, že je není možné dodatečně ohnout. Jejich ohyb je možný pouze při výrobě, která probíhá za tepla. Kdybychom chtěli použít FRP výztuž jako náhradu betonářské oceli, narazili bychom na významnou nevýhodu – v dlouhodobém časovém horizontu jsou vlastnosti výztuže negativně ovlivněny zásaditostí betonu (pH betonu je 12,4 až 13,7). Naopak hlavní výhodou kompozitních výztuží je to, že jsou korozivzdorné. Dále mají výrazně vyšší odolnost proti agresivním chemikáliím jako jsou kyseliny, chloridy a tak dále. Jsou velice lehké, nevodivé a netečné k působení magnetického pole. To znamená, že nestíní radiový signál, neohrožují je bludné proudy apod.

Výrobky z těchto kompozitních materiálů, jako jsou například desky, lamely, tyče nebo tkaniny, se skládají z milionů vláken. Průměr vláken je v řádech desítek mikrometrů. Polymerní matrice slouží jako ochrana vláken před mechanickým poškozením, zajišťuje polohu vláken a zároveň roznáší působící zatížení na všechna vlákna.



*Obrázek 7 - mikrostruktura FRP výztuže [9]*

Typů vláken a pryskyřic používaných k vytvoření kompozitu existuje velké množství. Vlákná vybíráme zejména dle potřebné pevnosti, tuhosti a trvanlivosti. Pryskyřice vybíráme na základě prostředí, kterému bude výsledný prvek vystaven. Roli hraje také způsob výroby. Nejpoužívanější jsou ve stavebnictví vlákna uhlíková, kevlarová (aramidová) a skleněná [9].

Prvky ze **skleněných vláken (GFRP)** vykazují z výše uvedených materiálů nejnižší pevnost v tahu a nejmenší modul pružnosti. Na druhou stranu jsou cenově nejdostupnější. Bohužel kvůli jejich modulu pružnosti, který je nižší než u oceli, je pro účely zesílení mostních staveb nevhodná.



*Obrázek 9 - sklolaminátové tyče [9]*

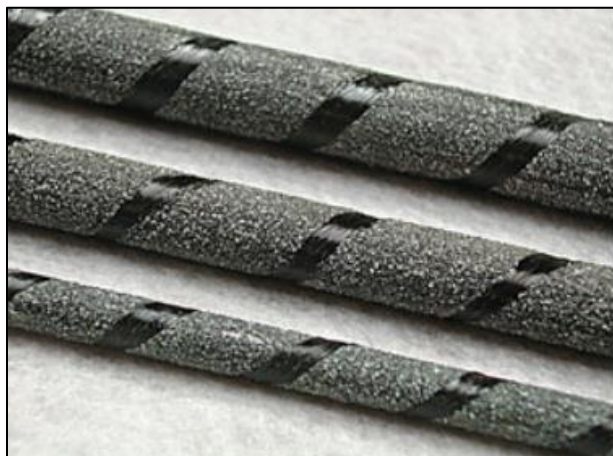
Výrobky z **kevlarových tj. aramidových vláken (AFRP)** jsou na tom s materiálovými vlastnostmi lépe, než ty se skleněnými vlákny. Bohužel ani to není pro účely této práce dostačující.



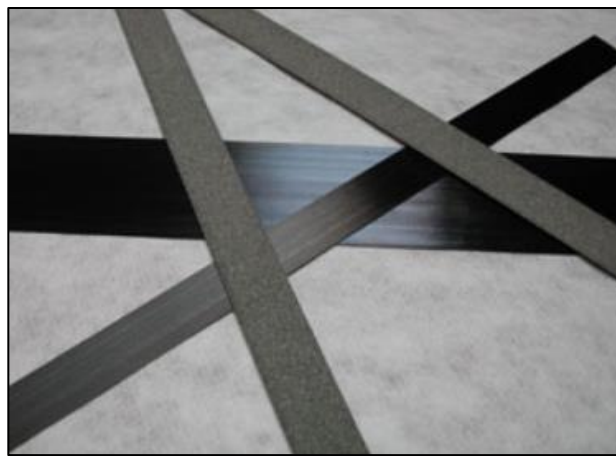
*Obrázek 8 - aramidové tyče [9]*

Prvky z **uhlíkových vláken (CFRP)** patří z hlediska pevnostních a materiálových vlastností k nejlepším. Modul pružnosti i pevnost v tahu vykazují vyšší než běžná betonářská výztuž. Díky tomu mají největší využití při zesilování konstrukcí. Samozřejmě s lepšími vlastnostmi roste i cena, tudíž jsou výztuže

z uhlíkových vláken nejdražší. I přes vyšší cenu mají široké využití a možnosti jejich aplikace jsou celosvětově zkoumány.



Obrázek 11 - uhlíkové tyče [9]



Obrázek 10 - výztužné uhlíkové lamely [9]

Pro účely práce, tedy zesílení betonových mostů, bude jako lepená výztuž použit kompozit s uhlíkovými vlákny.

Tabulka 2 - přehled vlastností jednotlivých kompozitů [10]

Vlastnost	Materiál			
	Ocel*	GFRP	CFRP	AFRP
Modul v podélném směru [GPa]	200	35 až 60	100 až 580	40 až 125
Modul v příčném směru [GPa]	200	cca 8 až 9	cca 10 až 12	cca 5 až 6
Tahová pevnost ve směru vláken [MPa]	300 až 600	450 až 1600	600 až 3500	1000 až 2500
Tlaková pevnost ve směru vláken [MPa]	300 až 600	cca 1/2 z tahové pevnosti	cca 1/2 z tahové pevnosti	cca 1/4 z tahové pevnosti
Příčná tahová pevnost [MPa]	300 až 600	30 až 40	30 až 40	30 až 40
Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	7850	cca 2100	cca 1600	cca 1400

### 3.3.2 Provádění

Aplikace externí lepené výztuže je tvořeno dvěma základními kroky. Prvním z nich je příprava podkladu. Ta zahrnuje hlavně odstranění nesoudržných vrstev vysokotlakými metodami jako jsou otryskání vodou, pískem nebo broky. Popřípadě můžeme povrch upravit broušením či pemrlováním. Zásadně se nedoporučuje používat mechanické metody (bourací kladiva apod.), neboť by mohlo dojít k narušení celistvosti konstrukce. Abychom úspěšně aplikovali externě lepené FRP systémy, musíme zajistit maximální rovinnost podkladní vrstvy. Jestliže se na podkladu vyskytují větší nerovnosti, je nutné aplikovat

vyrovnávací hmotu. Takto upravený povrch je třeba ještě očistit od prachu, zbavit vlhkosti a odmastit.



Obrázek 12 - úpravy povrchu betonu; shot blasting = brokování; scarifying = broušení [11]

Druhým krokem je vlastní aplikace systému. Zde je třeba ujasnit, že je v této práci předpokládáno použití výztužných lamel. Další alternativou jsou například tkaniny. Lamely se ke konstrukci připevňují většinou pomocí speciálního lepidla. Lepení na konstrukci může být pouze prosté – tzv. neaktivní lamely, nebo je možné lamely předepnout pomocí speciálních předpínacích lisů – tzv. aktivní lamely. Velkou výhodou instalace je, že neobsahuje žádný mokrá proces, a tudíž je i rychlejší než ostatní způsoby zesilování.

Pracovní postup by měl při realizaci obsahovat přesný popis prací v závislosti na druhu konstrukce, prostředí, ve kterém se nachází, a typu použité externí výztuže. Zaleží také na technologii a zvyklostech dodavatele výztužných systémů. Jelikož se tato práce nezabývá reálnou konstrukcí, nemohou být známy takovéto detaily a postup je popsán obecně.

### 3.3.3 Shrnutí výhod a nevýhod

**Výhody:**

- Rychlá aplikace (v porovnání s předchozími technologiemi)
- Velmi dobře odolává nepříznivým vlivům prostředí
- Vysoká pevnost v tahu (ve směru vláken)

**Nevýhody:**

- Velmi vysoká pořizovací cena
- Absence českých norem pro navrhování FRP výztuže

- Obtížné zajištění soudržnosti lamely s přilehlým betonem

## 4. Návrh typických mostů

Typické mosty budou navrženy podle staré ČSN 1230 – 1937 "Jednotný mostní řád". Mosty budou navrženy dle výše uvedené neplatné normy a spočítány metodou dovořených namáhání, která se v té době používala. Později byla metoda dovořených namáhání nahrazena současnou metodou mezních stavů.

Jako typické mosty pro tuto studii byly vybrány následující konstrukce:

- Prosté trémové mosty o rozpětí 6, 10, 15 a 20 m
- Spojité trémové mosty o dvou polích rozpětí 10, 15 a 20 m
- Deskové mosty o rozpětí 4, 8 a 12 m
- Rémové mosty o rozpětí 4, 8 a 12 m

Pro lepší porovnání budou mít všechny konstrukce stejnou zatěžovací šířku rovnou 7,5 m.

### 4.1 Materiály

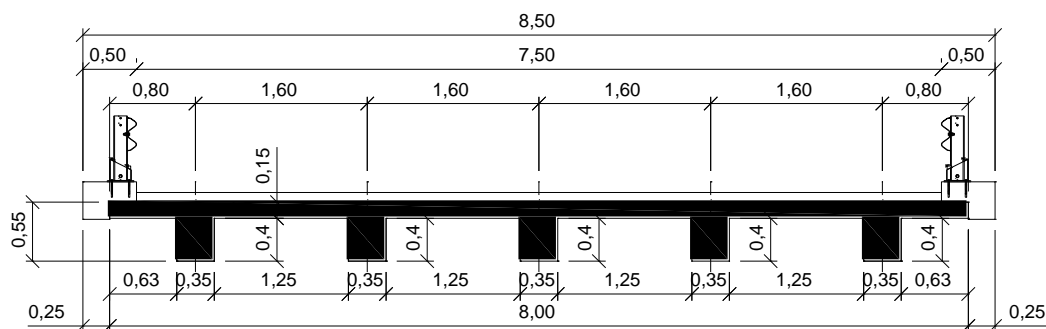
Při návrhu typických mostů budou použity materiály používané v roce 1937, aby navržené mosty odpovídaly stáří. Hodnoty převzaty z ČSN 73 0038 [6]

- Beton 330 (druh g)
- Ocel C37

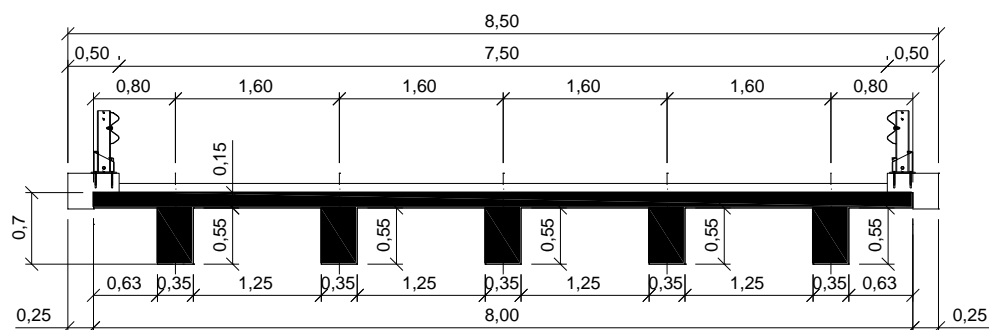
Pro návrh bude použita teorie dovořených namáhání. Proto se mezní hodnoty budou měnit dle způsobu namáhání. Tyto hodnoty budou vždy uvedeny u příslušného výpočtu.

### 4.2 Trémové mosty – prostý nosník

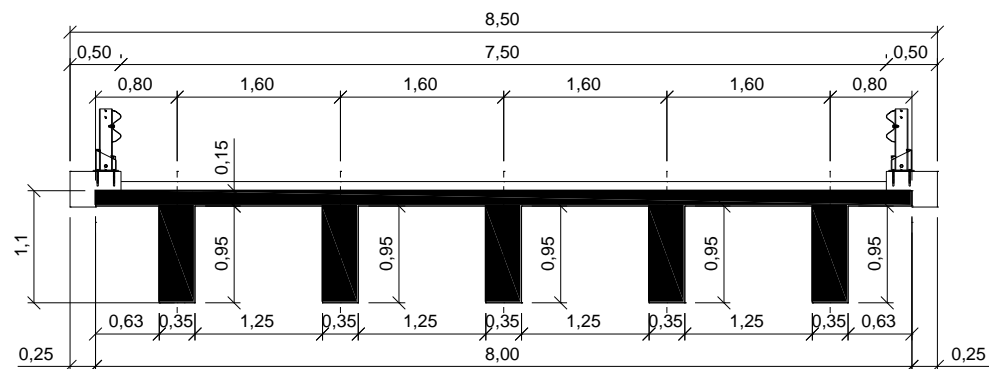
Navržená příčná uspořádání:



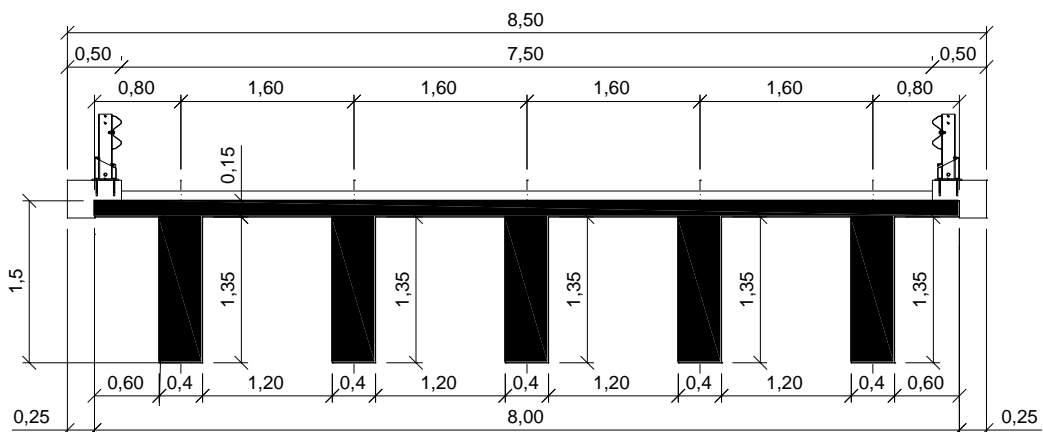
**Obrázek 13 - prostý trámový most, rozpětí 6 m**



**Obrázek 14 - prostý trámový most, rozpětí 10 m**



**Obrázek 15 - prostý trámový most, rozpětí 15 m**



**Obrázek 16 - prostý trámový most, rozpětí 20 m**



### 4.2.1 Stálé zatížení

Stálá zatížení budou zjednodušeně uvažována tak, že zatěžují všechny trámy stejně. Přesnějším výpočtem by byly nejvíce namáhány krajní trámy. Rozdíl by byl však malý, protože většinu stálého zatížení tvoří hmotnost trámů samotných.

Vlastní tíha konstrukce		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$f$	
Deska tl.	150 mm	25	6,00	kN/m
zat. šířka	1,6 m			
Trám	proměnné	25		proměnné
Římsy	A= 0,3 m <sup>2</sup>	25	1,35	kN/m
Svodidla			0,40	kN/m
Vozovka	90 mm	18	1,62	kN/m <sup>2</sup>

Z tabulky je zřejmé, že výška i zatížení trámu jsou různé. Navržené rozměry trámů jsou následující:

Navržený rozměr trámu (bez tl. desky):				
rozpětí [m]	6	10	15	20
b [mm]	350	350	350	400
h [mm]	400	550	950	1350

Stálé zatížení na jeden trám je pak:

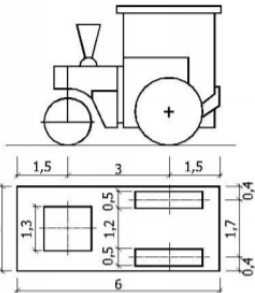
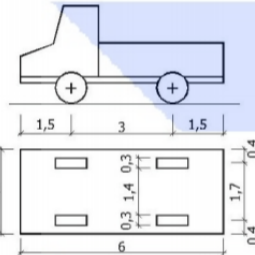
Stálé zatížení na 1 trám				
rozpětí [m]	6	10	15	20
ŽB deska	6,00	6,00	6,00	6,00
Trám	3,50	4,81	8,31	13,50
Římsy	1,35	1,35	1,35	1,35
Svodidlo	0,40	0,40	0,40	0,40
Vozovka	2,59	2,59	2,59	2,59
<b>Celkem</b>	<b>13,84</b>	<b>15,15</b>	<b>18,65</b>	<b>23,84</b>

### 4.2.2 Proměnné zatížení

Jak bylo již zmíněno, proměnná zatížení budou uvažována dle staré normy ČSN 1230 – 1937 "Jednotný mostní řád". Tato norma udává tři alternativy zatížení dopravou. První je zatížení samotným válcem, druhou alternativou je zatížení automobilem v každém pruhu šířky 2,5 m společně s rovnoměrným zatížením na zbylé zatěžovací ploše. Poslední třetí možností je zatížení pouze rovnoměrným zatížením.



Tabulka 3 - alternativy proměnného zatížení dle ČSN 1230

Váhy připadající na kola vozidel v tunách		Pro třídu mostu		
		I.	II.	III.
	celá váha strojního válce	24	15	9
	váha předního kola	9	5	3
	váha zadního kola	7,5	5	3
	celá váha jednoho automobilu	12	7,5	4,5
	váha předního kola	2	1,25	0,75
	váha zadního kola	4	2,5	1,5

Pro všechny konstrukce bude uvažována třída mostu I.

Rovnoměrné zatížení je dle tabulky závislé na rozpětí hlavních nosníků. Protože jsou všechny typické mosty uvažovány do rozpětí 20 m, rovnoměrné zatížení bude u všech rovno 500 kg/m<sup>2</sup>

Rovnoměrně rozdělené zatížení v kg/m <sup>2</sup>		Pro třídu mostu		
		I.	II.	III.
Pro rozpětí ℓ hlavních nosníků	0 až 30m	500	450	400
	30 až 130m	530-ℓ	480-ℓ	430-ℓ
	nad 130 m	400	350	300

#### 4.2.3 Vnitřní síly

Dominantní vnitřní silou uvažovaných typických mostů je zejména ohybový moment. Proto se v této práci budou vyhodnocovat pouze zesílení z hlediska ohybových momentů. Předpokládáme tedy, že je u všech mostů navržena dostatečná výztuž na přenesení smykových, potažmo normálových sil.

Momenty od stálého zatížení jsou podle statického uspořádání spočteny pomocí vzorce:

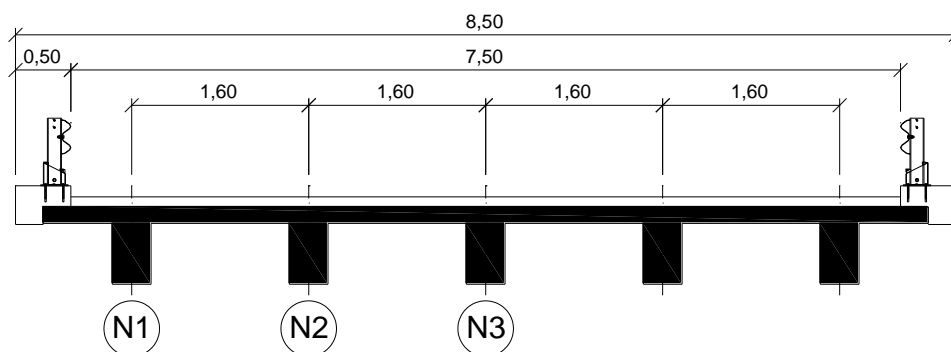
$$M_g = \frac{1}{8} f l^2$$

kde  $f$  je stálé zatížení na jeden trám

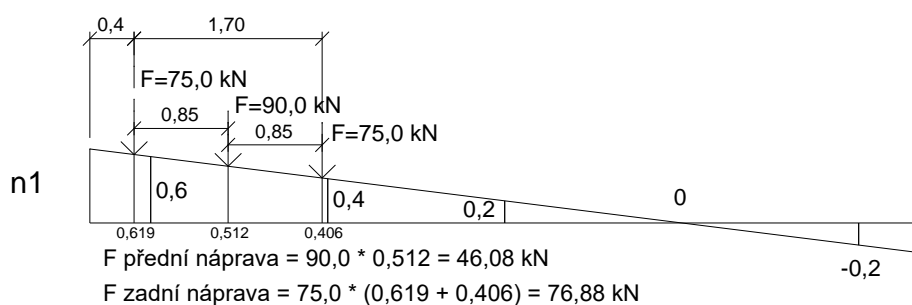
$l$  je rozpětí konstrukce

Moment od stálého zatížení				
rozpětí [m]	6	10	15	20
M [kNm]	<b>62,3</b>	<b>189,4</b>	<b>524,7</b>	<b>1192,1</b>

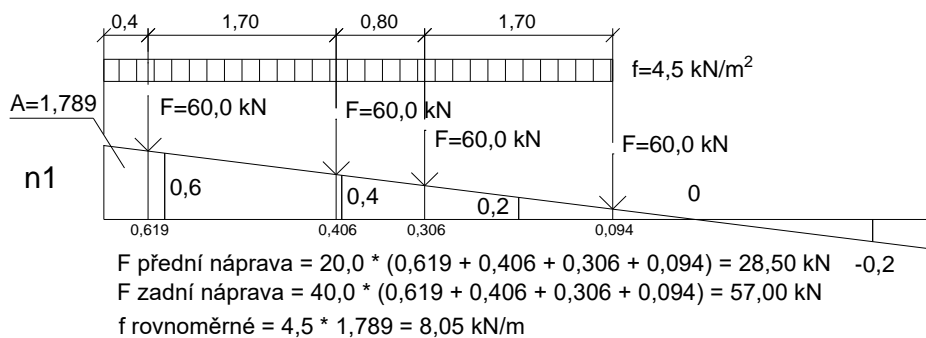
Vnitřní síly od proměnného zatížení budou na trémových mostech vyhodnoceny pomocí příčného roznosu. Ten platí pouze za předpokladu dokonale tuého ztužidla. Bude tedy uvažováno, že všechny trémové mosty mají v příčném směru dostatečnou tuhost. Nejvíce zatížený bude krajní nosník.



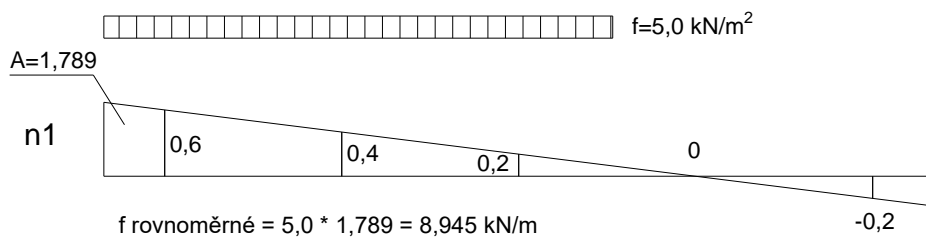
ROZNOS ZAT. NOSNÍK 1 - ZATÍŽENÍ VÁLCEM



ROZNOS ZAT. NOSNÍK 1 - ZATÍŽENÍ AUTOMOBILY



ROZNOS ZAT. NOSNÍK 1 - ROVNOMĚRNÉ ZATÍŽENÍ



Obrázek 17 - příčný roznos

Pohyblivá zatížení mají tedy po přepočtu na jeden trám následující schémata:

Schéma zatížení válcem

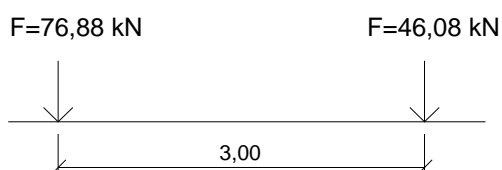


Schéma zatížení automobilem a spojitým zatížením

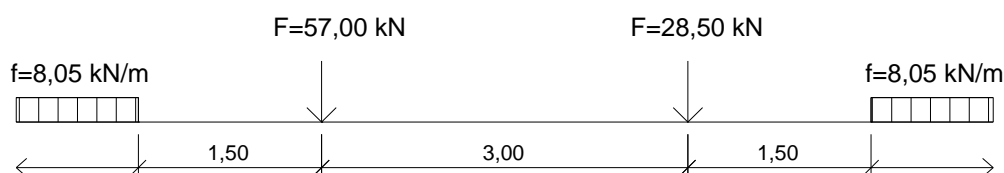


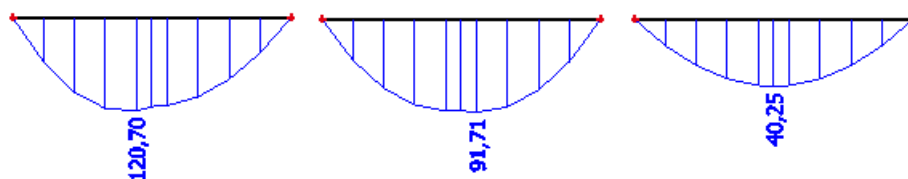
Schéma zatížení rovnoměrným zatížením



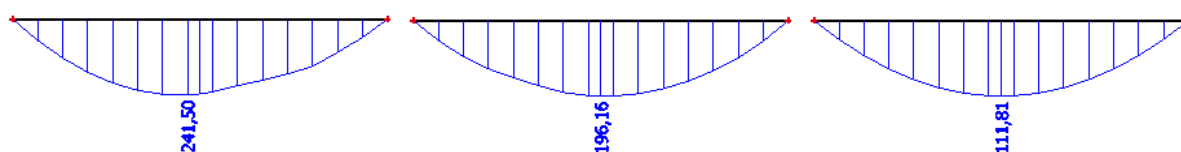
Obrázek 18 - schémata proměnného zatížení s uvážením příčného roznosu

Vnitřní síly od pohyblivého zatížení budou pro urychlení spočítány pomocí programu SCIA Engineer 16.0. Alternativou by bylo použití Winklerova kritéria, které využívá příčinkové čáry.

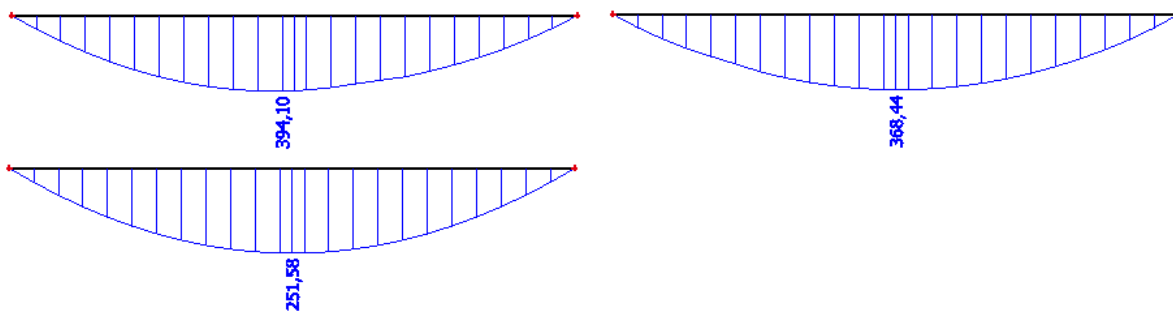
Pro prosté trámové mosty rozpětí 6 m jsou výsledky následující (alt. 1 vlevo, 3 vpravo):



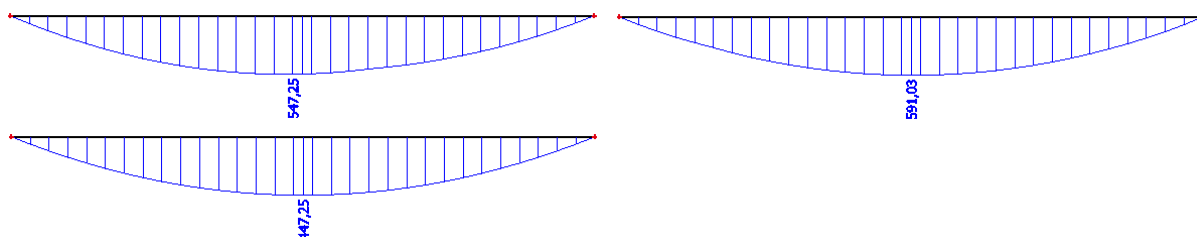
Rozpětí 10 m:



Rozpětí 15 m (alt. 1 vlevo, 2 vpravo, 3 dole):



Rozpětí 20 m (alt. 1 vlevo, 2 vpravo, 3 dole):



Charakteristické hodnoty proměnného zatížení jsou následující. Zvýrazněné hodnoty jsou rozhodující.

Moment od proměnného zatížení - charakteristický				
rozpětí [m]	6	10	15	20
alt. 1 [kNm]	<b>120,7</b>	<b>241,5</b>	<b>394,1</b>	547,3
alt. 2 [kNm]	91,7	196,2	368,4	<b>591,0</b>
alt. 3 [kNm]	36,2	100,6	226,4	402,5

Pro výpočet návrhových hodnot (podle staré ČSN 1230) musíme charakteristické hodnoty vynásobit dynamickým součinitelem.

$$\delta = 1 + \frac{0,4}{1 + 0,2L} + \frac{0,6}{1 + 4 \frac{g}{p}} \quad \delta \leq 1,40$$

kde

g je celkové stálé zatížení na mostě

p je maximální hodnota veškerého proměnného zatížení, které lze na most umístit

Hodnoty pro dynamický součinitel				
L [m]	6	10	15	20
g [kN]	<b>415,3</b>	<b>757,7</b>	<b>1399,1</b>	<b>2384,2</b>
p alt. 1 [kN]	240,0	240,0	240,0	240,0
p alt. 2 [kN]	<b>360,0</b>	<b>380,0</b>	405,0	430,0
p alt. 3 [kN]	225,0	375,0	<b>562,5</b>	<b>750,0</b>

Maximální uvažované hodnoty jsou zvýrazněny. Dynamický součinitel pro jednotlivé typické mosty po dosazení vychází následovně:

Dynamický součinitel proměnného zatížení				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$\delta$	1,29	1,20	1,14	1,11
$\delta_{max}$	1,40	1,40	1,40	1,40
posouzení	OK	OK	OK	OK

Návrhové momenty od dopravy spočítáme tak, že vynásobíme maximální charakteristické momenty dynamickým součinitelem.

Moment od proměnného zatížení - návrhový				
rozpětí [m]	6	10	15	20
M [kNm]	155,5	289,8	449,5	653,6

Celkové ohybové momenty na jednotlivé mosty dostaneme sečtením návrhových momentů od proměnného zatížení s momenty od vlastní tíhy.

Celkový moment od stálého a proměnného zat.				
rozpětí [m]	6	10	15	20
<b>Med [kNm]</b>	<b>217,8</b>	<b>479,3</b>	<b>974,1</b>	<b>1845,7</b>

#### 4.2.4 Návrh a posouzení

Výpočet včetně dosazení bude vždy proveden pro jeden typický most, zbytek bude pro přehlednost spočítán tabulkovou formou. Hodnoty budou dosazovány pro trámový most o rozpětí 6 m.

##### Spolupůsobící šířka

Nejprve určíme spolupůsobící šířku T průřezu. Dle starší návrhové teorie má spolupůsobící šířka 3 kritéria:

- 1)  $d_0 = 0,15 \text{ m} \geq 0,1 \text{ m}$   $d = 0,1 \cdot 1,25 = 0,125 \text{ m}$  – Vyhovuje
- 2)  $b = b_T + 12 d_0 = 0,35 + 12 \cdot 0,15 = 2,15 \text{ m} \leq B = 1,6 \text{ m}$  – Nevyhovuje  $\rightarrow b = 1,6 \text{ m}$

$$3) \quad b = 2,15 \text{ m} \leq 1/3 l_d = 1/3 * 6 = 2 \text{ m} - \text{Nevyhovuje}$$

Rozhoduje podmínka 2) ->  $b = 1,6 \text{ m}$

kde  $d_0$  je tloušťka desky

$d$  je příčná vzdálenost mezi trámy

$b_T$  je šířka trámu

$b$  je spolupůsobící šířka

### Návrh a posouzení výztuže

Výztuž se odhadne na základě ramene vnitřních sil a následně se posoudí. Pro hlavní nosnou výztuž se předpokládá Ø32 ve dvou řadách, krytí výztuže se uvažuje 30 mm. Třmeny Ø10. Ve výpočtu se odhaduje, že neutrálná osa prochází trámem. V tomto případě je dovolené namáhání ocele  $k_a = 140 \text{ MPa}$ , betonu  $k_b = 9,9 \text{ MPa}$ . Koeficient  $n$ , vyjadřující rozdílné moduly pružnosti je roven 15.

$$z = 0,9 * h = 0,9 * (550 - 30 - 10 - 1,5 * 32) = 0,9 * 462 = 416 \text{ mm}$$

$$A_{s,rqd} = \frac{M_{Ed}}{z * k_a} = \frac{217,8 * 10^6}{416 * 140} = 3742 \text{ mm}^2$$

-> **NÁVRH 6Ø32;  $A_{s,prov} = 4825 \text{ mm}^2$**

$$x = \frac{0,5 * b * d_0^2 * A_{s,prov} + n * A_{s,prov} * h}{b * d_0 + n * A_{s,prov}} =$$

$$= \frac{0,5 * 1600 * 150^2 * 4825 + 15 * 4825 * 462}{1600 * 150 + 15 * 4825} = 165 \text{ mm}$$

předpoklad splněn, neutrálná osa prochází trámem

$$z = h - 0,5 * d_0 + \frac{d_0^2}{6(2x - d_0)} = 462 - 0,5 * 150 + \frac{150^2}{6(2 * 165 - 150)} = 408 \text{ mm}$$

**Napětí ve výztuži**

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed}}{z * A_{s,prov}} = \frac{217,8 * 10^6}{408 * 4825} = 110,7 \text{ MPa}$$

$\sigma_a < 140 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

**Napětí v tlačeném betonu**

$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} * \frac{x}{h - x} = \frac{110,7}{15} * \frac{165}{462 - 165} = 4,1 \text{ MPa}$$

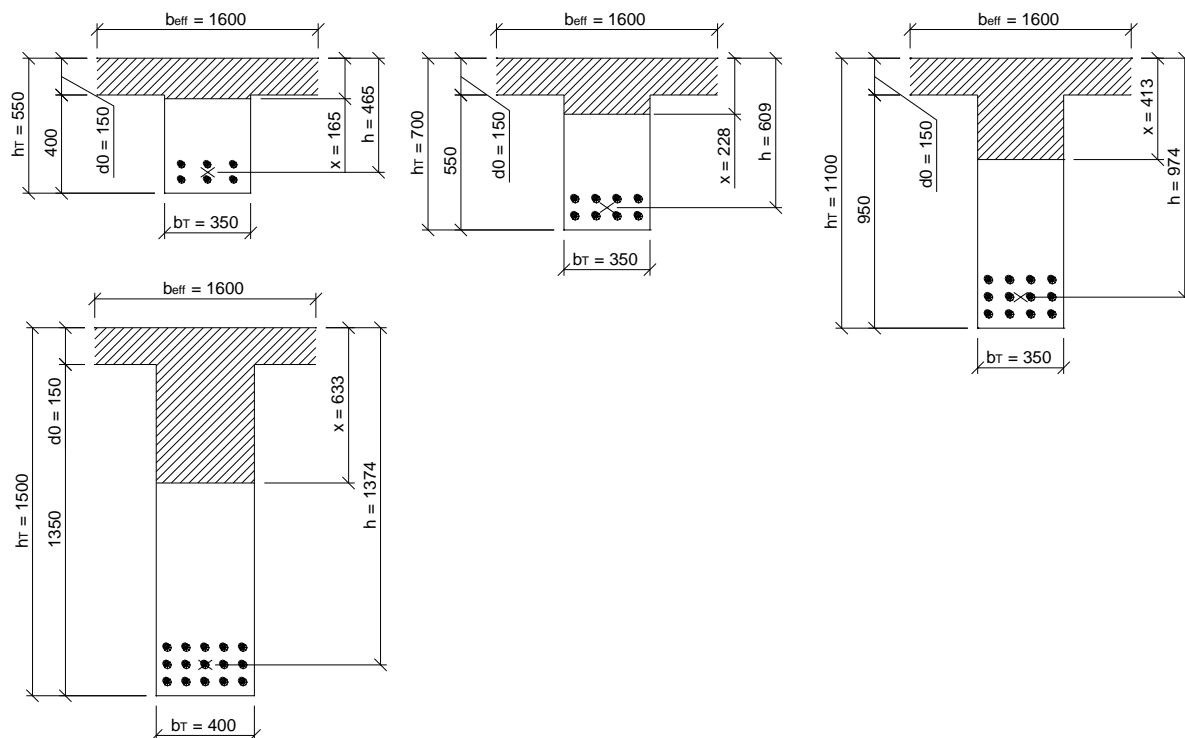
$\sigma_b < 9,9 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

## NÁVRH VÝZTUŽE 6Ø32 VYHOVUJE

Zde byl popsán způsob výpočtu pro prostý trémový most o rozpětí 6 m.

Ostatní typické trémové mosty jsou spočteny v následující tabulce:

Návrh a posouzení T průřezu				
rozpětí [m]	6	10	15	20
Med [kNm]	217,8	479,3	974,1	1845,7
$h_c$ [mm]	550	700	1100	1500
$b_T$ [mm]	350	350	350	400
$d_o$ [mm]	150	150	150	150
$b$ [mm]	1600	1600	1600	1600
	2150	2150	2150	2200
	2000	3333	5000	6667
	1600	1600	1600	1600
$k_a$ [MPa]	140	140	140	140
$n$ [-]	15	15	15	15
$\emptyset$ [mm]	32	32	32	32
$\emptyset_{tr}$ [mm]	10	10	10	10
$c$ [mm]	30	30	30	30
$h$ (odhad)	462	625	1025	1425
$z$ (odhad)	416	563	923	1283
$A_{s,rqd}$ [mm <sup>2</sup> ]	3742	6086	7543	10280
<b><math>k_s</math> výztuže</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>15</b>
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	4825	6434	9651	12064
$h$ [mm]	462	609	974	1374
$x$ [mm]	165	228	413	633
$z$ [mm]	408	546	905	1302
$\sigma_a$ [MPa]	110,7	136,4	111,6	117,5
$k_a$ [MPa]	140	140	140	140
<b>napětí výz.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
$\sigma_b$ [MPa]	4,1	5,4	5,5	6,7
$k_{bd}$ [MPa]	9,9	9,9	9,9	9,9
<b>napětí bet.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>



Obrázek 19 - trémové mosty - výztuž

### Přepočet podle ČSN 1992-1-1

Přepočet podle stávající normy později poslouží pro stanovení zatížitelnosti a porovnání s jednotlivými technologiemi zesílení. Při přepočtu momentu únosnosti vycházíme z rovnováhy sil v průřezu. ČSN 1992-1-1 využívá metodu dílčích součinitelů. Součinitel materiálu pro beton  $\gamma_c = 1,5$ . Výpočet s dosazením hodnot bude opět předveden pouze pro jeden typický trémový most o rozpětí 6 m.

Materiálové vlastnosti jsou:

$$f_{ck} = 23 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 180 \text{ Mpa}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 23 / 1,5 = 15,3 \text{ MPa}$$

Spolupůsobící šířka se podle výše citované normy spočítá z následujících vztahů:

$$b_{eff} = 2 * b_i + b_T$$

$b_i$  je rovno nejmenší z hodnot:

$$1) b_i \leq B / 2 = 1,25 / 2 = 0,625 \text{ m}$$

$$2) b_i \leq 0,2 * B / 2 + 0,1 * l_0 = 0,2 * 1,25 / 2 + 0,1 * 6 = 0,725 \text{ m}$$

$$3) b_i \leq 0,2 * l_0 = 0,2 * 6 = 1,200 \text{ m}$$



rozhoduje podmínka 1)  $\rightarrow b_i = 0,625 \text{ m}$

$$b_{\text{eff}} = 2 * 0,625 + 0,35 = 1,6 \text{ m}$$

Efektivní výška průřezu je stejná, protože se nemění poloha výztuže ani výška průřezu. Změna je pouze v označení:  $d = h$

$$d = 462 \text{ mm}$$

Tlačenou část vypočítáme na základě rovnosti sil ve výztuži a betonu. Předpokládáme, že tlačená oblast bude menší, než je výška desky.

$$x = \frac{A_{s,\text{prov}} * f_{yd}}{0,8 * b_{\text{eff}} * f_{cd}} = \frac{4825 * 180}{0,8 * 1600 * 15,3} = 44,3 \text{ mm}$$

předpoklad je splněn.

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 x = 462 - 0,4 * 44,3 = 444,3 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$M_{\text{Rd}} = A_{s,\text{prov}} * z = 4825 * 444,3 * 10^{-6} = 385,9 \text{ kNm}$$

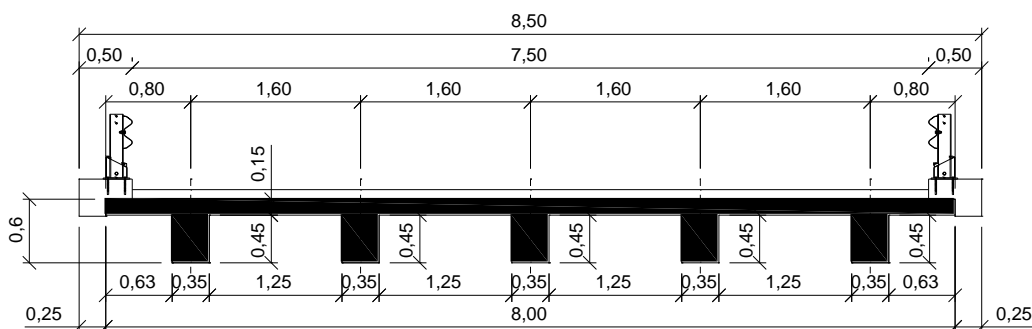
Výše uvedený postup výpočtu je pro trémový spojitý nosník o rozpětí 10 + 10 m.

Mosty ostatních rozpětí jsou přepočteny v tabulce:

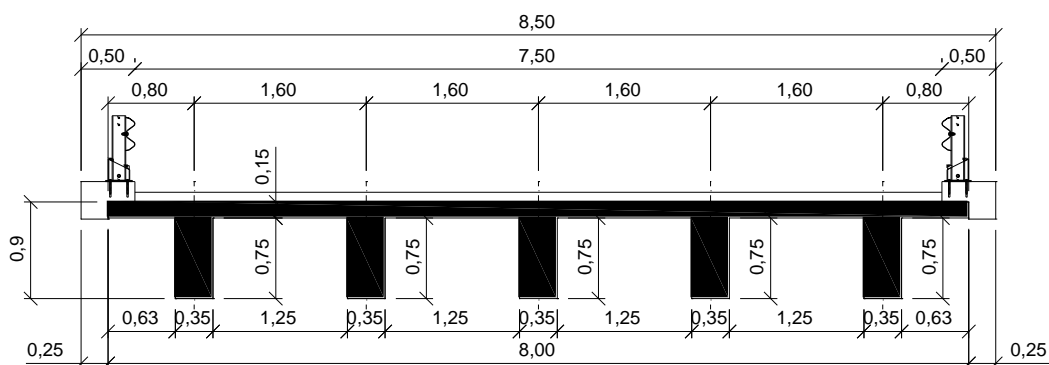
Únosnost podle ČSN EN 1992-1-1				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$f_{ck}$ [MPa]	23	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3	15,3
$f_{yd}$ [MPa]	180	180	180	180
$A_{s,\text{prov}}$ [mm <sup>2</sup> ]	4825	6434	9651	12064
$b_T$ [mm]	350	350	350	400
$b_i$ [mm]	625	625	625	600
$l_0$ [mm]	6000	10000	15000	20000
$0,2 * l_0$ [mm]	1200	2000	3000	4000
$b_{\text{eff},i}$ [mm]	725	1125	1625	2120
$b_{\text{eff}}$ [mm]	1600	1600	1600	1600
$d$ [mm]	462	609	974	1374
$x$ [mm]	44,3	59,0	88,5	110,6
$z$ [mm]	444,3	585,4	938,6	1329,7
$M_{\text{Rd}}$ [kNm]	385,91	677,96	1630,50	2887,50

## 4.3 Trémové mosty – spojitý nosník

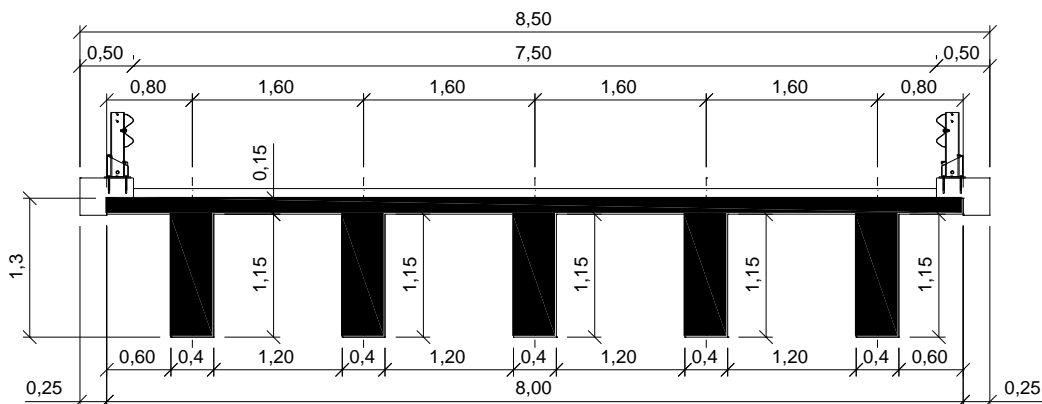
Navržená příčná uspořádání:



Obrázek 20 - spojitý trám, rozpětí 10 + 10 m



Obrázek 21 - spojitý trám, rozpětí 15 + 15 m



Obrázek 22 - spojitý trám, rozpětí 20 + 20 m

### 4.3.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení spojitých trámových mostů je velice podobné stálému zatížení trámů prostých. Rozdíl je pouze ve výšce trámu.

Vlastní tíha konstrukce		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$f$	
Deska tl.	150 mm	25	6,00	kN/m
zat. šířka	1,6 m			
Trám	proměnné	25		proměnné
Římsy	A= 0,3 m <sup>2</sup>	25	1,35	kN/m
Svodidla			0,40	kN/m
Vozovka	90 mm	18	1,62	kN/m <sup>2</sup>

Výška trámů je navržena následovně:

Navržený rozměr trámu (bez tl. desky):			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
b [mm]	350	350	400
h [mm]	450	750	1150

Zatížení přepočtené na jeden trám je následující:

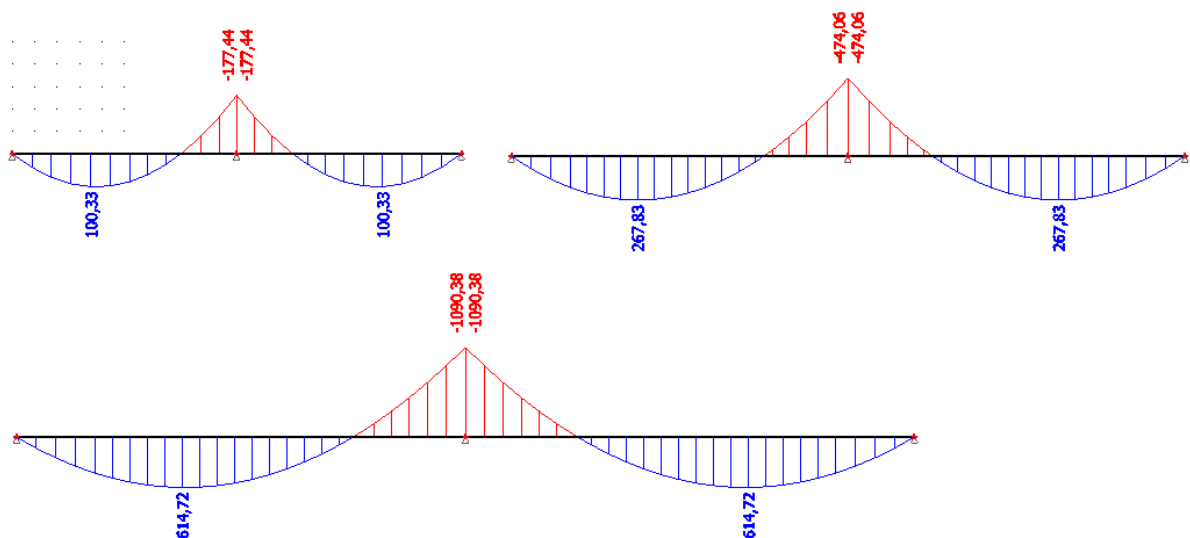
Stálé zatížení na 1 trám			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
ŽB deska	6,00	6,00	6,00
Trám	3,94	6,56	11,50
Římsy	1,35	1,35	1,35
Svodidlo	0,40	0,40	0,40
Vozovka	2,59	2,59	2,59
<b>Celkem</b>	<b>14,28</b>	<b>16,90</b>	<b>21,84</b>

#### 4.3.2 Proměnné zatížení

Proměnné zatížení má stejný charakter jako u prostých trámových mostů. Shodný je také příčný roznos a zatěžovací schémata.

#### 4.3.3 Vnitřní síly

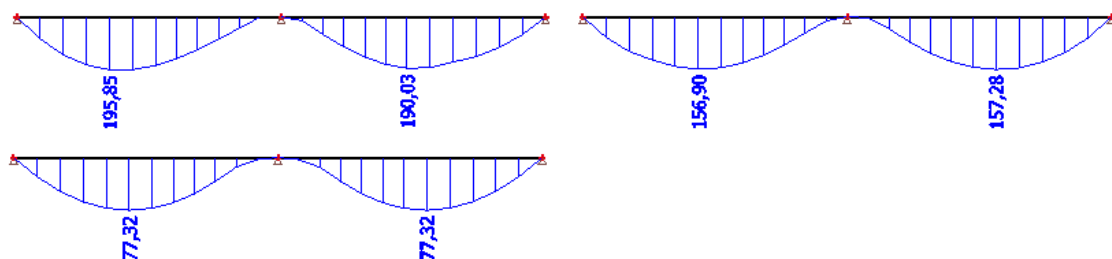
Vnitřní síly od stálého zatížení budou kvůli statické neurčitosti konstrukce spočteny pomocí programu SCIA engineer 16.0. Alternativou výpočtu by byla například deformační metoda. Momenty od stálého zatížení jsou následující (zleva: trámový most o rozpětí 10+10 m, 15+15, 20+20):



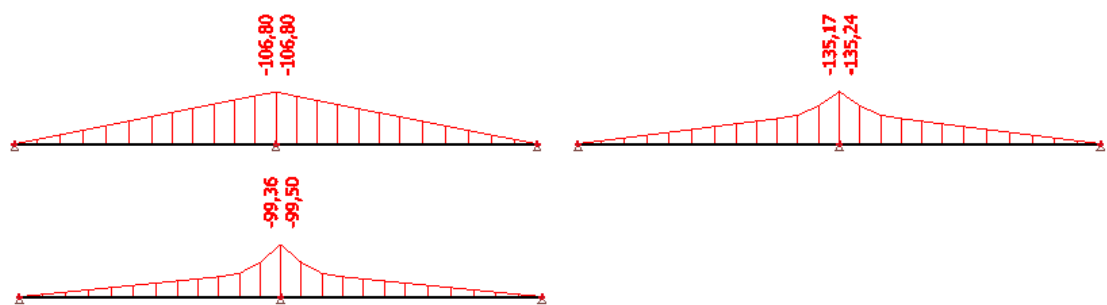
Moment od stálého zatížení v poli			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
$M_{\text{pole}}$ [kNm]	<b>100,3</b>	<b>267,8</b>	<b>614,7</b>
Moment od stálého zatížení nad podporou			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
$M_{\text{podp.}}$ [kNm]	<b>-177,4</b>	<b>-474,1</b>	<b>-1090,4</b>

Pro výpočet vnitřních sil od proměnného zatížení se použije stejný příčný roznos jako při výpočtu vnitřních sil na trémových mostech prostě uložených. To je možné díky stejné šířce mostu, stejné osově vzdálenosti trámů a předpokladu dokonalého ztužidla. Na spojitě nosníky se aplikují stejná zatěžovací schémata – zatížení válcem, zatížení automobily a rovnoměrné zatížení. Výpočet proběhne v programu SCIA Engineer 16.0. U spojitých nosníků je zapotřebí spočítat obálky jak kladných momentů, tak i záporných momentů nad střední podporou.

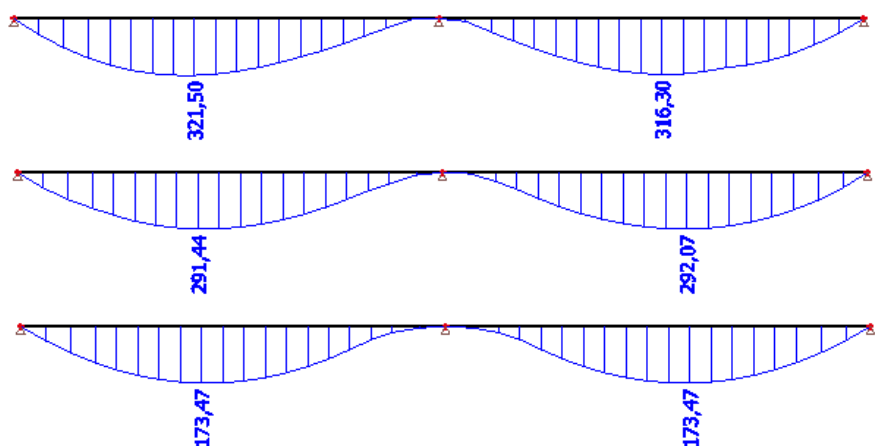
Tr. most rozpětí 10+10 m, kladné momenty (alternativy zatížení 1 až 3 - zleva doprava):



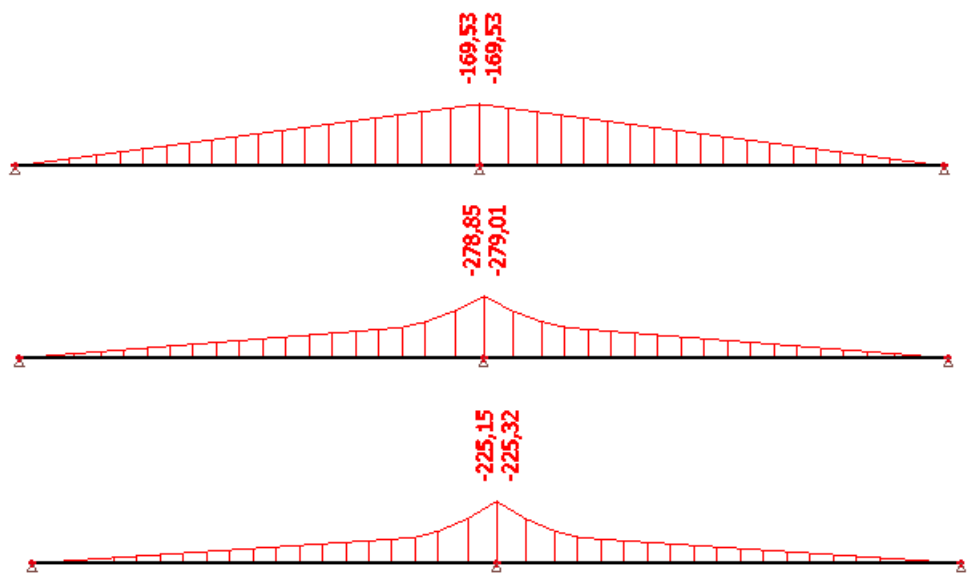
Tr. most rozpětí 10+10 m, záporné momenty (alternativy zatížení 1 až 3 - zleva doprava):



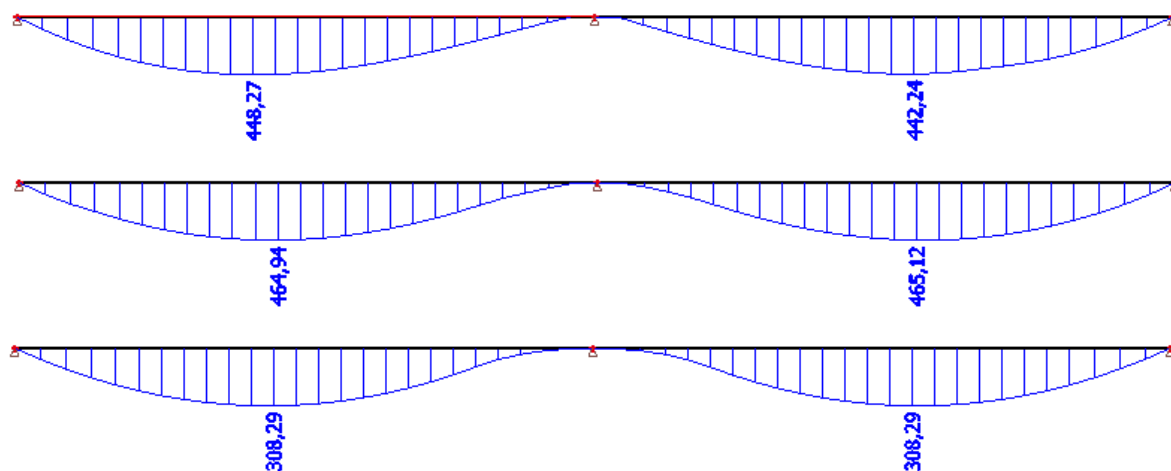
Tr. most rozpětí 15+15 m, kladné momenty (alternativy zatížení 1 až 3 – shora dolů):



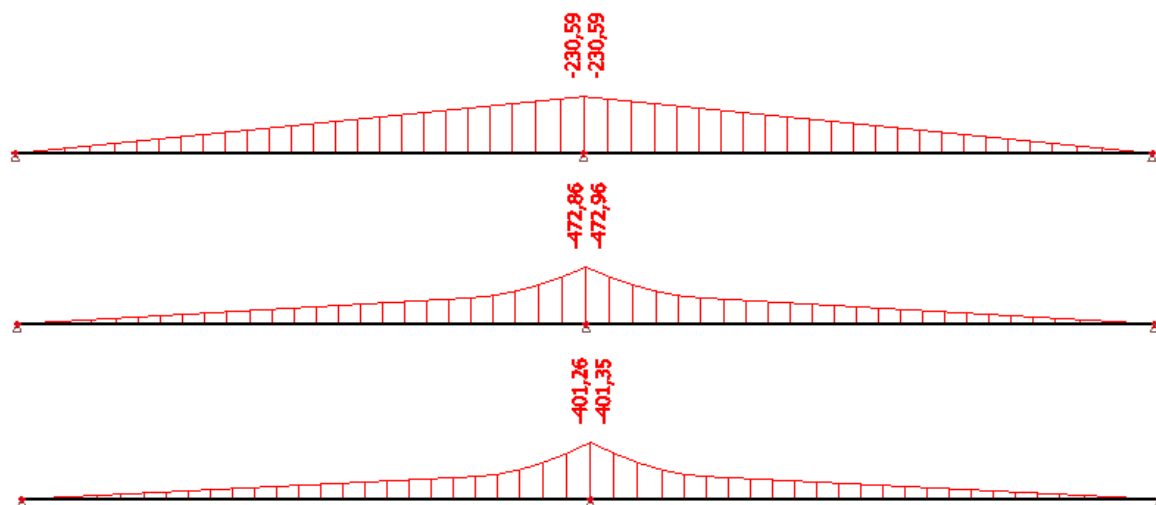
Tr. most rozpětí 15+15 m, záporné momenty (alternativy zatížení 1 až 3 – shora dolů):



Tr. most rozpětí 20+20 m, kladné momenty (alternativy zatížení 1 až 3 – shora dolů):



Tr. most rozpětí 20+20 m, záporné momenty (alternativy zatížení 1 až 3 – shora dolů):



V následující tabulce jsou charakteristické hodnoty ohybových momentů shrnuty a zvýrazněny rozhodující.

Moment v poli od prom. zatížení - charakteristický			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
alt. 1 [kNm]	<b>195,9</b>	<b>321,5</b>	448,3
alt. 2 [kNm]	157,3	292,1	<b>465,2</b>
alt. 3 [kNm]	77,3	173,5	308,3
Moment nad podporou od prom. zatížení - charakteristický			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
alt. 1 [kNm]	-106,8	-169,5	-230,6
alt. 2 [kNm]	<b>-135,3</b>	<b>-279,0</b>	<b>-472,9</b>
alt. 3 [kNm]	-99,5	-225,3	-401,4

Dynamický součinitel bude shodný, jako u prostých trémových mostů, protože vstupní hodnoty zatížení „g“ a „p“ se v případě spojitých nosníků uvažují pouze na nejděší pole.

Dynamický součinitel proměnného zatížení			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta$	<b>1,20</b>	<b>1,14</b>	<b>1,11</b>
$\delta_{\max}$	1,40	1,40	1,40
posouzení	OK	OK	OK

Návrhové hodnoty maximálních ohybových momentů jsou po vynásobení dynamickým součinitelem:

Moment v poli od proměnného zatížení - návrhový			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
M [kNm]	<b>237,4</b>	<b>367,5</b>	<b>514,5</b>
Moment nad podporou od proměnného zatížení - návrhový			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
M [kNm]	<b>-162,5</b>	<b>-318,3</b>	<b>-523,0</b>

Po sečtení návrhových ohybových momentů od proměnného zatížení a momentů od zatížení stálých dostáváme celkové momenty na jednotlivé trámy.

Celkový moment v poli od stálého a proměnného zat.			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
M <sub>ed</sub> [kNm]	<b>338,1</b>	<b>634,2</b>	<b>1129,0</b>
Celkový moment nad podporou od stálého a proměn. zat.			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
M <sub>ed</sub> [kNm]	<b>-340,0</b>	<b>-792,4</b>	<b>-1613,4</b>

#### 4.3.4 Návrh a posouzení

Výpočet včetně dosazení bude vždy proveden pro jeden typický most, zbytek bude pro přehlednost spočítán tabulkovou formou. Hodnoty budou dosazovány pro trémový most o rozpětí 10 + 10 m.

#### Návrh a posouzení průřezu v poli

##### Spolupůsobící šířka

Nejprve určíme spolupůsobící šířku T průřezu. Dle starší návrhové teorie má spolupůsobící šířka 3 kritéria:

$$4) d_0 = 0,15 \text{ m} \geq 0,1 \text{ d} = 0,1 * 1,25 = 0,125 \text{ m} - \text{Vyhovuje}$$

$$5) b = b_T + 12 d_0 = 0,35 + 12 * 0,15 = 2,15 \text{ m} \leq B = 1,6 \text{ m} - \text{Nevyhovuje} \rightarrow b = 1,6 \text{ m}$$

$$6) b = 2,15 \text{ m} \leq 1/3 l_d = 1/3 * 0,8 * 10 = 2,67 \text{ m} - \text{Nevyhovuje}$$

Rozhoduje podmínka 2)  $\rightarrow b = 1,6 \text{ m}$

kde  $d_0$  je tloušťka desky

$d$  je příčná vzdálenost mezi trámy

$b_T$  je šířka trámu

$b$  je spolupůsobící šířka

$l_d$  je zat. rozpětí, u spojitých nosníku =  $0,8 * \text{rozpětí pole}$

##### Návrh a posouzení výztuže

Výztuž se odhadne na základě ramene vnitřních sil a následně se posoudí. Pro hlavní nosnou výztuž se předpokládá Ø32 ve dvou řadách, krytí výztuže se uvažuje 30 mm. Třmeny Ø10. Ve výpočtu se odhaduje, že neutrálná osa prochází trémem. V tomto případě je dovolené namáhání ocele  $k_a = 140 \text{ MPa}$  a betonu  $k_b = 9,9 \text{ MPa}$ . Koeficient  $n$ , vyjadřující rozdílné moduly pružnosti je roven 15.

$$z = 0,9 * h = 0,9 * (600 - 30 - 10 - 1,5 * 32) = 0,9 * 512 = 461 \text{ mm}$$

$$A_{s,rqd} = \frac{M_{Ed}}{z * k_a} = \frac{338,1 * 10^6}{461 * 140} = 5241 \text{ mm}^2$$

$\rightarrow$  **NÁVRH 8Ø32;  $A_{s,prov} = 6434 \text{ mm}^2$**

$$x = \frac{0,5 * b * d_0^2 * A_{s,prov} + n * A_{s,prov} * h}{b * d_0 + n * A_{s,prov}} =$$



$$= \frac{0,5 * 1600 * 150^2 * 6434 + 15 * 6434 * 512}{1600 * 150 + 15 * 6434} = 200 \text{ mm}$$

předpoklad splněn, neutrálná osa prochází trámem

$$z = h - 0,5 * d_0 + \frac{d_0^2}{6(2x - d_0)} = 512 - 0,5 * 150 + \frac{150^2}{6(2 * 200 - 150)} = 452 \text{ mm}$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed}}{z * A_{s,prov}} = \frac{338,1 * 10^6}{452 * 6434} = 116,3 \text{ MPa}$$

$\sigma_a < 140 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

Napětí v tlačeném betonu

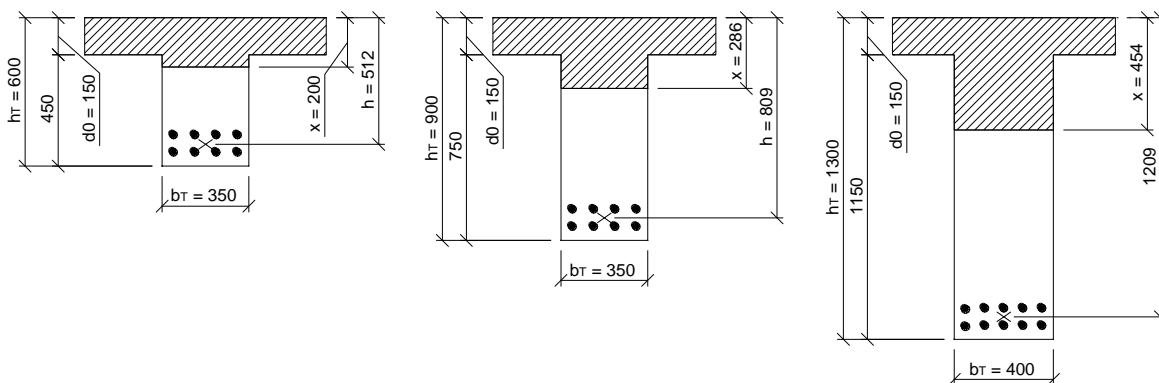
$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} * \frac{x}{h - x} = \frac{116,3}{15} * \frac{200}{512 - 200} = 5,0 \text{ MPa}$$

$\sigma_b < 9,9 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

### **NÁVRH VÝZTUŽE 8Ø32 VYHOVUJE**

Zde byl popsán způsob výpočtu únosnosti průřezu v poli pro spojitý trémový most o rozpětí 10+10 m. Návrh a posouzení průřezu v poli ostatních typických mostů je v následující tabulce:

Návrh a posouzení T průřezu v poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$M_{ed}$ [kNm]	338,1	634,2	1129,0
$h$ [mm]	600	900	1300
$b_T$ [mm]	350	350	400
$d_0$ [mm]	150	150	150
$L_0$ [m]	8	12	16
$b$ [mm]	1600	1600	1600
	2150	2150	2200
	2667	4000	5333
	1600	1600	1600
$k_a$ [MPa]	140	140	140
$n$ [-]	15	15	15
$\emptyset$ [mm]	32	32	32
$\emptyset_{tr}$ [mm]	10	10	10
$c$ [mm]	30	30	30
$h$ (odhad)	512	812	1212
$z$ (odhad)	460,8	730,8	1090,8
$A_{s,rd}$ [mm <sup>2</sup> ]	5241	6198	7393
<b>ks výztuže</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	6434	6434	8042
$h$ [mm]	512	809	1209
$x$ [mm]	200	286	454
$z$ [mm]	452	743	1139
$\sigma_a$ [MPa]	116,3	132,7	123,3
$k_a$ [MPa]	140	140	140
<b>napětí výz.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
$\sigma_b$ [MPa]	5,0	4,8	4,9
$k_{bd}$ [MPa]	9,9	9,9	9,9
<b>napětí bet.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>



Obrázek 23 - průřezy v poli

### Přepočet podle ČSN 1992-1-1

Důvody přepočtu a materiálové charakteristiky jsou uvedeny u prostých trémových mostů

Spolupůsobící šířka:

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot b_i + b_T$$

$b_i$  je rovno nejmenší z hodnot:

$$1) \quad b_i \leq B / 2 = 1,25 / 2 = 0,625 \text{ m}$$

$$2) \quad b_i \leq 0,2 \cdot B / 2 + 0,1 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 1,25 / 2 + 0,1 \cdot 0,8 \cdot 10 = 0,925 \text{ m}$$

$$3) \quad b_i \leq 0,2 \cdot l_0 = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 10 = 1,600 \text{ m}$$

rozhoduje podmínka 1)  $\rightarrow b_i = 0,625 \text{ m}$

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot 0,625 + 0,35 = 1,6 \text{ m}$$

Efektivní výška průřezu je stejná, protože se nemění poloha výztuže ani výška průřezu. Změna je pouze v označení:  $d = h$

$$d = 512 \text{ mm}$$

Tlačenou část vypočítáme na základě rovnosti sil ve výztuži a betonu.

$$x = \frac{A_{s,\text{prov}} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{cd}} = \frac{6434 \cdot 180}{0,8 \cdot 1600 \cdot 15,3} = 59,0 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 x = 512 - 0,4 \cdot 59,0 = 488,4 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$M_{\text{Rd}} = A_{s,\text{prov}} \cdot z = 6434 \cdot 488,4 \cdot 10^{-6} = \mathbf{565,62 \text{ kNm}}$$

Výše uvedený výpočet je pro trémový spojitý most o rozpětí 10 + 10 m, průřez v poli. Přepočet mostů ostatních rozpětí je uveden v tabulce:

Únosnost v poli podle ČSN EN 1992-1-1			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$f_{ck}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3
$f_{yd}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	6434	6434	8042
$b_i$ [mm]	625	625	600
$l_o$ [mm]	8000	12000	16000
$0,2 \cdot l_o$ [mm]	1600	2400	3200
$b_{eff,i}$ [mm]	925	1325	1720
$b_{eff}$ [mm]	1600	1600	1600
$d$ [mm]	512	809	1209
$x$ [mm]	59,0	59,0	73,8
$z$ [mm]	488,4	785,4	1179,5
$M_{Rd}$ [kNm]	565,62	909,58	1707,49

## Návrh a posouzení průřezu nad podporou

### Návrh a posouzení výztuže

Výztuž se odhadne na základě ramene vnitřních sil a následně se posoudí. Pro hlavní nosnou výztuž se předpokládá Ø32 v jedné řadě, krytí výztuže se uvažuje 30 mm. Třímeny Ø10. V tomto případě je dovolené namáhání ocele  $k_a = 140$  MPa a betonu  $k_b = 13,2$  MPa, protože je tlačnou částí trám, který má výšku větší než 200 mm. Koeficient  $n$ , vyjadřující rozdílné moduly pružnosti je opět roven 15.

$$z = 0,9 \cdot h = 0,9 \cdot (600 - 30 - 10 - 0,5 \cdot 32) = 0,9 \cdot 544 = 490 \text{ mm}$$

$$A_{s,rqd} = \frac{M_{Ed}}{z \cdot k_a} = \frac{-340,0 \cdot 10^6}{490 \cdot 140} = 4960 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{NÁVRH } 9\text{Ø}32; A_{s,prov} = 7238 \text{ mm}^2$$

Pro výpočet výšky tlačené oblasti bude použit vzorec, užívaný pro obdélníkové průřezy (dle dovolených namáhání)

$$x = \frac{n \cdot A_{s,prov}}{b_T} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2b_T \cdot h}{n \cdot A_{s,prov}}} \right) =$$

$$\frac{15 \cdot 7238}{350} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 350 \cdot 544}{15 \cdot 7238}} \right) = 348 \text{ mm}$$

$$z = h - \frac{x}{3} = 544 - \frac{348}{3} = 428 \text{ mm}$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed}}{z * A_{s,prov}} = \frac{-340,0 * 10^6}{428 * 7238} = 109,8 \text{ MPa}$$

$\sigma_a < 140 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

Napětí v tlačeném betonu

$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} * \frac{x}{h - x} = \frac{109,8}{15} * \frac{348}{544 - 348} = 13,0 \text{ MPa}$$

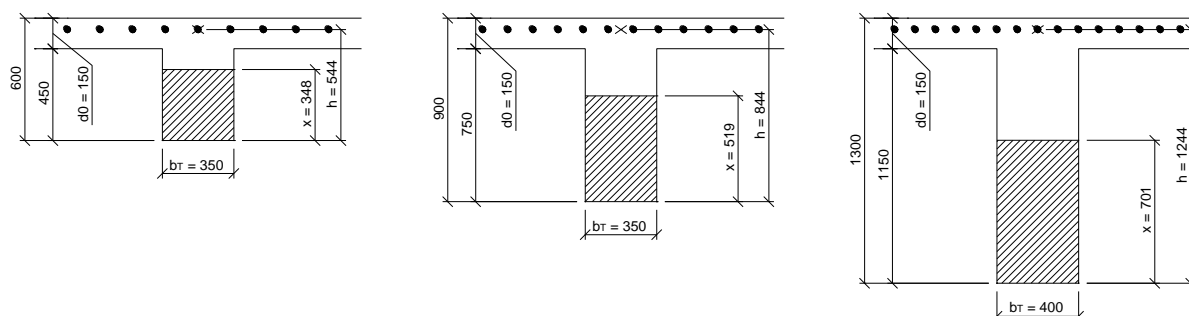
$\sigma_b < 13,2 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

## NÁVRH VÝZTUŽE 9Ø32 VYHOVUJE

Zde byl popsán způsob výpočtu únosnosti průřezu nad podporou pro spojitý trémový most o rozpětí 10+10 m. Návrh a posouzení průřezu nad podporou ostatních typických mostů je v následující tabulce:

Návrh a posouzení T průřezu nad podporou			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
Med [kNm]	-340,0	-792,4	-1613,4
h <sub>T</sub> [mm]	600	900	1300
b <sub>T</sub> [mm]	350	350	400
d <sub>o</sub> [mm]	150	150	150
k <sub>a</sub> [MPa]	140	140	140
n [-]	15	15	15
Ø [mm]	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
Ø <sub>tr</sub> [mm]	10	10	10
c [mm]	30	30	30
h (odhad)	544	844	1244
z (odhad)	490	760	1120
A <sub>s,rqd</sub> [mm <sup>2</sup> ]	4960	7451	10293
<b>ks výztuže</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>15</b>
A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ]	7238	9651	12064
h [mm]	544	844	1244
x [mm]	348	519	701
z [mm]	428	671	1010
σ <sub>a</sub> [MPa]	<b>109,8</b>	<b>122,3</b>	<b>132,4</b>
k <sub>a</sub> [MPa]	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>
<b>napětí výz.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>

$\sigma_b$ [MPa]	<b>13,0</b>	<b>13,0</b>	<b>11,4</b>
$k_{bd}$ [MPa]	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>
<b>napětí bet.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>



Obrázek 24 - průřezy nad podporou

### Přepočet podle ČSN 1992-1-1

Efektivní výška průřezu je stejná, protože se nemění poloha výztuže ani výška průřezu. Změna je pouze v označení:  $d = h$

$$d = 544 \text{ mm}$$

Tlačenou část vypočítáme na základě rovnosti sil ve výztuži a betonu.

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{7238 \cdot 180}{0,8 \cdot 350 \cdot 15,3} = 303,5 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 x = 544 - 0,4 \cdot 303,5 = 422,6 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

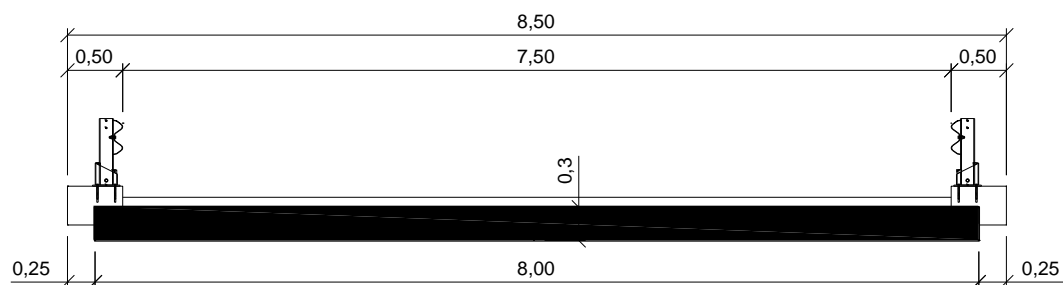
$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot z = 7238 \cdot 422,6 \cdot 10^{-6} = \mathbf{550,62 \text{ kNm}}$$

Výše uvedený výpočet je pro trémový spojitý most o rozpětí 10 + 10 m, průřez nad podporou. Přepočet mostů ostatních rozpětí je uveden v tabulce:

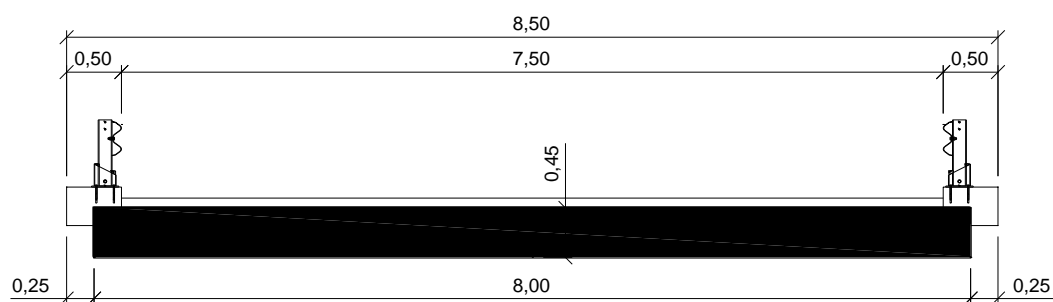
Únosnost nad podporou podle ČSN EN 1992-1-1			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$f_{ck}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3
$f_{yd}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	7238	9651	12064
$b_T$ [mm]	350	350	400
$d$ [mm]	544	844	1244
$x$ [mm]	303,5	404,6	442,6
$z$ [mm]	422,6	682,2	1067,0
$M_{Rd}$ [kNm]	550,62	1185,02	2316,91

## 4.4 Deskové mosty

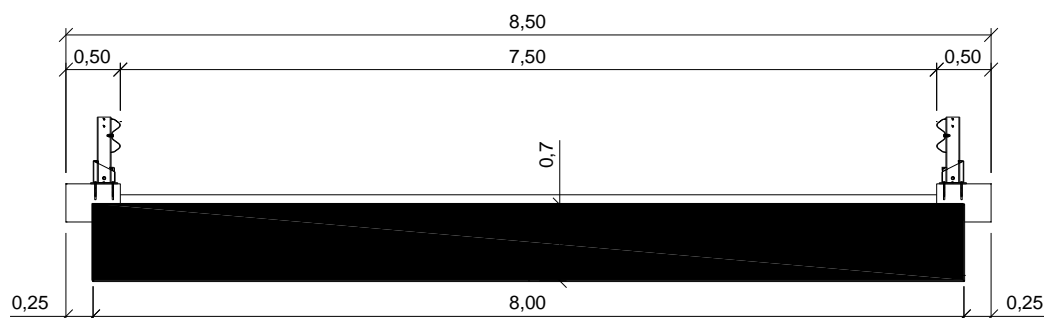
Navržená příčná uspořádání:



Obrázek 25 - deskový most, rozpětí 4 m



Obrázek 26 - deskový most, rozpětí 8 m



Obrázek 27 - deskový most, rozpětí 12 m

#### 4.4.1 Stálé zatížení

Stálá zatížení budou opět zjednodušeně uvažována tak, že je celá deska zatížena rovnoměrně. Přesnějším výpočtem by byly nejvíce namáhány krajní části desky. Rozdíl by byl však malý, protože většinu stálého zatížení tvoří hmotnost desky.

Vlastní tíha konstrukce			$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$f_g$
Deska tl.	proměnná		25	
Římsy	A= 0,27	m <sup>2</sup>	25	0,90 kN/m <sup>2</sup>
Svodidla				0,27 kN/m <sup>2</sup>
Vozovka	90 mm		18	1,62 kN/m <sup>2</sup>

Výšky desky jsou pro jednotlivá rozpětí navrženy následovně:

Navržená výška desky			
rozpětí [m]	4	8	12
h [mm]	300	450	700

Celkové stálé zatížení na m<sup>2</sup> desky je pak:

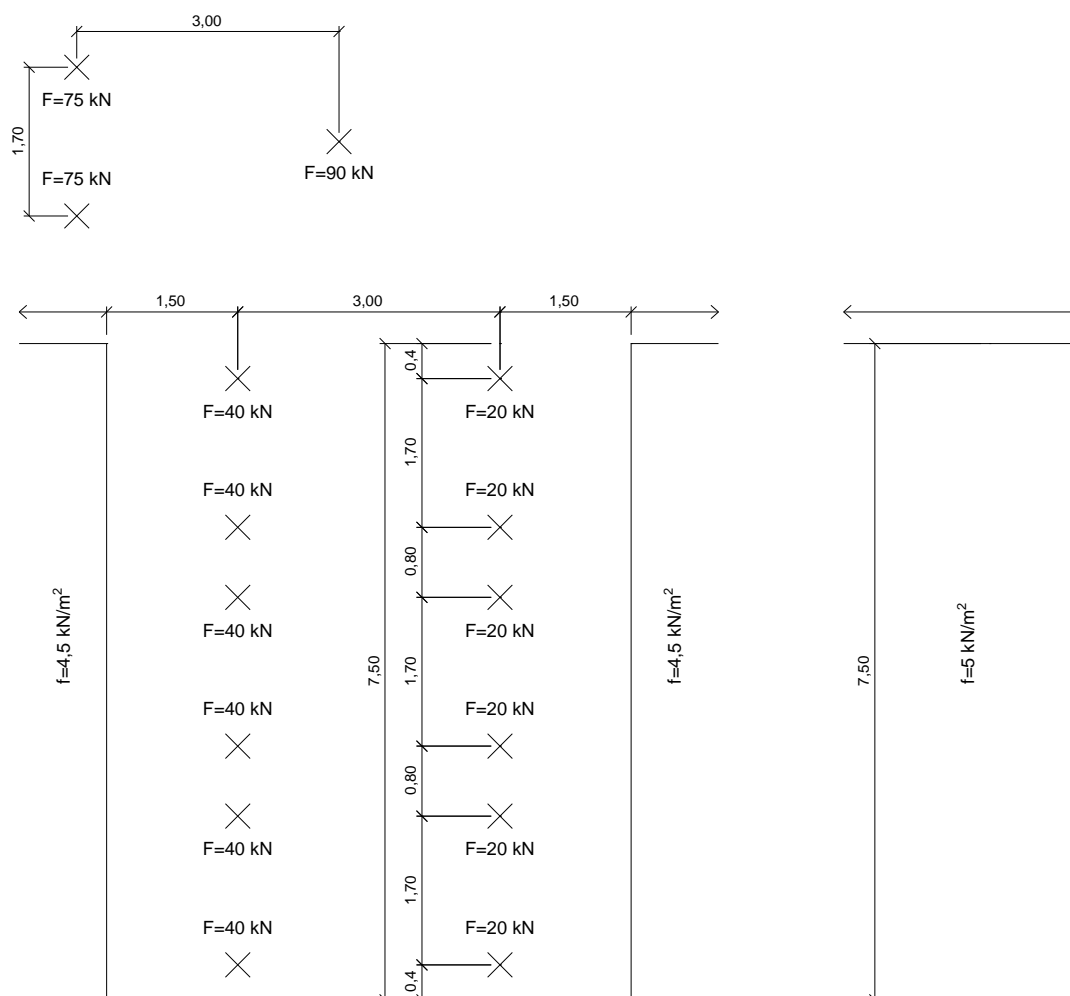
Stálé zatížení desky v kN/m <sup>2</sup>			
rozpětí [m]	4	8	12
ŽB deska	7,50	11,25	17,50
Římsy	0,90	0,90	0,90
Svodidlo	0,27	0,27	0,27
Vozovka	1,62	1,62	1,62
<b>Celkem</b>	<b>10,29</b>	<b>14,04</b>	<b>20,29</b>

#### 4.4.2 Proměnné zatížení

Pro deskové mosty budou použité stejné zatěžovací soustavy jako u trémových mostů. Na rozdíl od trámů nebude u deskových mostů vyhodnocován příčný roznos. Dané zatěžovací soustavy (válec, automobil a rovnoměrné zatížení) budou aplikovány na 3D model konstrukce. Síly od náprav a



rovnoměrného zatížení se nebudou násobit koeficientem příčného roznosu, ale namodelují se charakteristické hodnoty. Zatěžovací schémata vypadají následovně (nahore zatížení alt. 1, dole vlevo alt. 2, vpravo alt. 3):

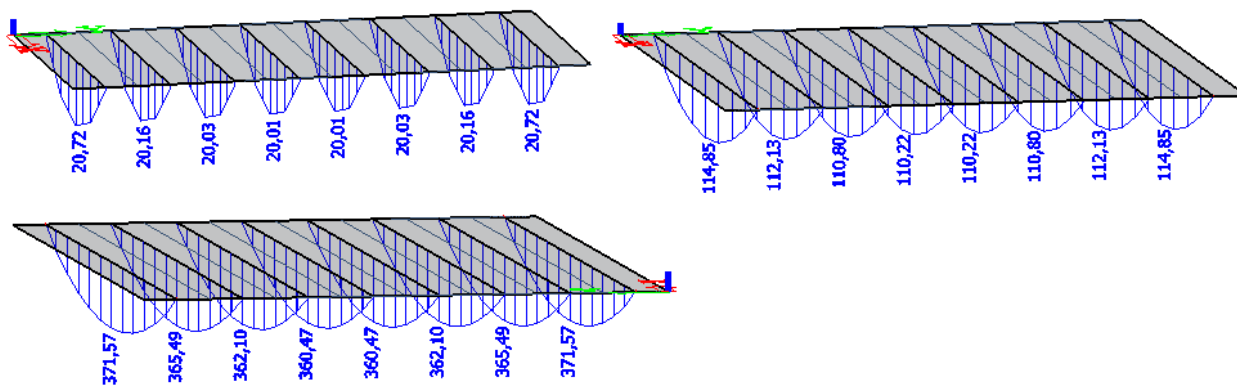


Obrázek 28 - schémata zatížení

#### 4.4.3 Vnitřní síly

Vnitřní síly z 3D modelu budou spočítány programem SCIA Engineer 16.0. Deskové mosty jsou modelovány tak, že jsou do deskového prvku vložena žebra o zanedbatelné tuhosti. Tato žebra mají osovou vzdálenost přesně  $1 \text{ m}$ , stejně jako efektivní šířka. Díky tomu jsou výsledky vztažené na žebro a dostáváme tedy vnitřní síly na  $1 \text{ metr běžný}$ .

Vnitřní síly od stálého zatížení (vlevo nahore deska rozp.  $4 \text{ m}$ , vpravo rozp.  $8 \text{ m}$  a dole rozp.  $12 \text{ m}$ ):

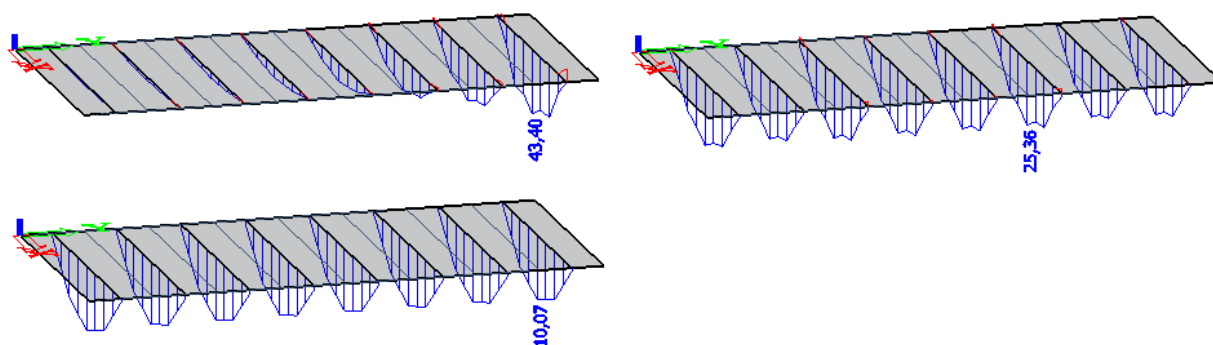


Obrázek 29- stálé zatížení, deskové mosty

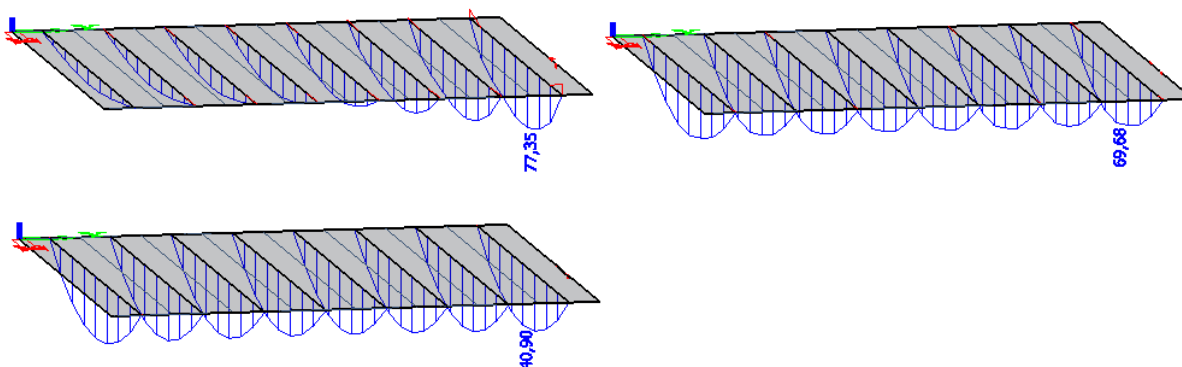
Momenty od stálého zatížení shrnuté v tabulce:

Moment od stálého zatížení			
rozpětí [m]	4	8	12
M [kNm/m]	<b>20,7</b>	<b>114,9</b>	<b>371,6</b>

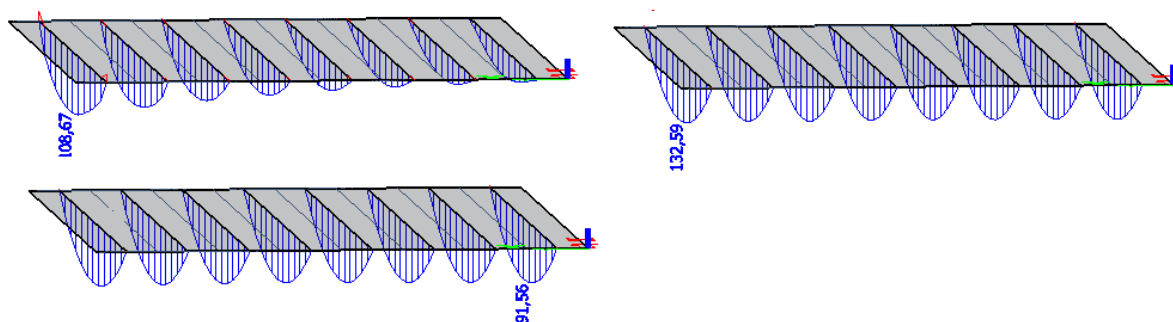
Obálky momentů od pohyblivých zatížení jsou následující:



Obrázek 30 - momenty od pohyblivých zatížení – deska rozpětí 4 m



Obrázek 31 - momenty od pohyblivých zatížení - deska rozpětí 8 m



Obrázek 32 - momenty od pohyblivých zatížení - deska rozpětí 12 m

Shrnutí momentů od proměnného zatížení se zvýrazněním rozhodujících účinků:

Moment od proměnného zatížení - charakteristický			
rozpětí [m]	4	8	12
alt. 1 [kNm/m]	<b>43,4</b>	<b>77,4</b>	108,7
alt. 2 [kNm/m]	25,4	69,7	<b>132,6</b>
alt. 3 [kNm/m]	10,1	40,9	91,6

Stejně jako při návrhu předchozích mostů, je třeba určit dynamický součinitel. Vstupní hodnoty maximálních zatížení jsou:

Hodnoty pro dynamický součinitel			
L [m]	4	8	12
G [kN]	<b>329,2</b>	<b>898,3</b>	<b>1947,5</b>
P alt. 1 [kN]	240,0	240,0	240,0
P alt. 2 [kN]	<b>360,0</b>	<b>440,0</b>	<b>600,0</b>
P alt. 3 [kN]	160,0	320,0	480,0

Dynamický součinitel pro jednotlivé mosty:

Dynamický součinitel proměnného zatížení			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta$	1,35	1,22	1,16
$\delta_{\max}$	1,40	1,40	1,40
posouzení	OK	OK	OK

Návrhové hodnoty momentů od proměnného zatížení:

Moment od proměnného zatížení - návrhový			
rozpětí [m]	4	8	12
M [kNm/m]	58,6	94,3	153,9

Po sečtení návrhových momentů od proměnného zatížení s momenty od stálého zatížení získáme dimenzační momenty:

Celkový moment od stálého a proměnného zat.			
rozpětí [m]	4	8	12
Med [kNm/m]	<b>79,4</b>	<b>209,2</b>	<b>525,4</b>

### Návrh a posouzení výztuže

Výztuž se odhadne na základě ramene vnitřních sil a následně se posoudí. Pro hlavní nosnou výztuž se předpokládá Ø20 v jedné řadě, krytí výztuže se uvažuje 30 mm. Smyková výztuž Ø10. V tomto případě je dovolené namáhání ocele  $k_a = 140$  MPa a betonu  $k_b = 13,2$  MPa, protože je tlačena deska, která má výšku větší než 200 mm. Koeficient  $n$ , vyjadřující rozdílné moduly pružnosti je opět roven 15. Výpočet s dosazením bude pro desku s rozpětím 4 m.

$$z = 0,9 * h = 0,9 * (300 - 30 - 10 - 0,5 * 20) = 0,9 * 250 = 225 \text{ mm}$$

$$A_{s,rqd} = \frac{M_{Ed}}{z * k_a} = \frac{79,0 * 10^6}{225 * 140} = 2519 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{NÁVRH } 9\text{Ø}20/\text{m}; A_{s,prov} = 2827 \text{ mm}^2$$

Pro výpočet výšky tlačené oblasti bude použit vzorec, užívaný pro obdélníkové průřezy (dle dovolených namáhání)

$$x = \frac{n * A_{s,prov}}{b} * \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2b * h}{n * A_{s,prov}}} \right) =$$

$$\frac{15 * 2827}{1000} * \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000 * 250}{15 * 2827}} \right) = 109 \text{ mm}$$

$$z = h - \frac{x}{3} = 250 - \frac{109}{3} = 214 \text{ mm}$$

### Napětí ve výztuži

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed}}{z * A_{s,prov}} = \frac{79,0 * 10^6}{214 * 2827} = 131,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a < 140 \text{ MPa} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

### Napětí v tlačném betonu

$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} * \frac{x}{h - x} = \frac{131,4}{15} * \frac{109}{250 - 109} = 6,8 \text{ MPa}$$

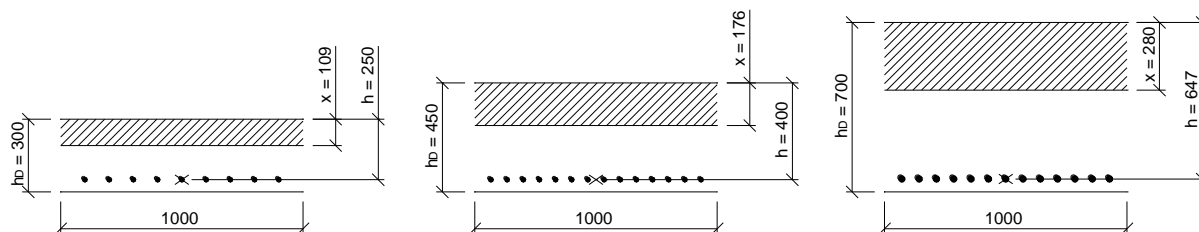
$$\sigma_b < 13,2 \text{ MPa} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

### NÁVRH VÝZTUŽE 9Ø20/m VYHOVUJE

Zde byl popsán způsob výpočtu únosnosti průřezu deskového mostu o rozpětí 4 m. Návrh a posouzení ostatních typických mostů je v následující tabulce.

Poznámka: Profily výztuže a jejich počet je spíše ilustrativní. Ve skutečnosti by byly odlišné. Tento návrh je udělán tak, aby bylo docíleno velkého využití. V této práci hraje roli plocha výztuže, nikoliv rozmístění.

Návrh a posouzení deskových mostů			
rozpětí [m]	4	8	12
$M_{ed}$ [kNm/m]	79,4	209,2	525,4
$h_D$ [mm]	300	450	700
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$k_a$ [MPa]	140	140	140
$n$ [-]	15	15	15
$\emptyset$ [mm]	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>28</b>
$\emptyset_{tř}$ [mm]	10	10	10
$c$ [mm]	30	30	30
$h$ (odhad)	250	400	647
$z$ (odhad)	225	360	582,3
$A_{s,rgd}$ [mm <sup>2</sup> ]	2519	4150	6445
<b>ks výztuže / m</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>12</b>
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2827	4398	6902
$h$ [mm]	250	400	647
$x$ [mm]	109	173	277
$z$ [mm]	214	342	555
$\sigma_a$ [MPa]	<b>131,4</b>	<b>138,9</b>	<b>137,2</b>
$k_a$ [MPa]	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>
<b>napětí výz.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
$\sigma_b$ [MPa]	<b>6,8</b>	<b>7,1</b>	<b>6,8</b>
$k_{bd}$ [MPa]	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>
<b>napětí bet.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>



Obrázek 33 - průřezy deskových mostů

Přepočet podle ČSN 1992-1-1

Efektivní výška průřezu je stejná, protože se nemění poloha výztuže ani výška průřezu. Změna je pouze v označení:  $d = h$

$$d = 250 \text{ mm}$$

Tlačenou část vypočítáme na základě rovnosti sil ve výztuži a betonu.

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2827 \cdot 180}{0,8 \cdot 1000 \cdot 15,3} = 41,5 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 x = 250 - 0,4 \cdot 41,5 = 233,4 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

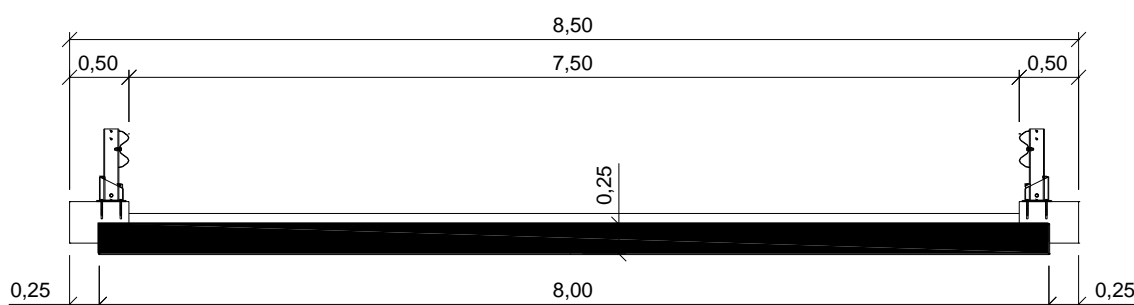
$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot z = 2827 \cdot 233,4 \cdot 10^{-6} = \mathbf{118,79 \text{ kNm/m}}$$

Výše uvedený výpočet je pro deskový most o rozpětí 4 m. Přepočet mostů ostatních rozpětí je uveden v tabulce:

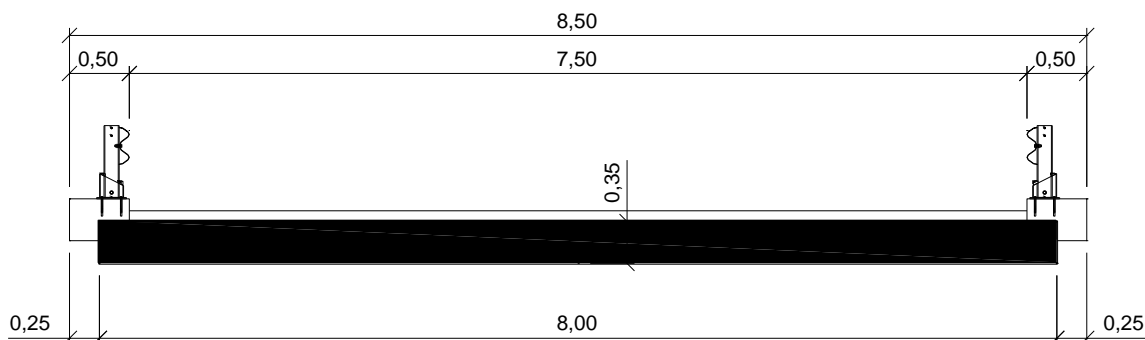
Únosnost podle ČSN EN 1992-1-1			
rozpětí [m]	4	8	12
$f_{ck}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3
$f_{yd}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2827	4398	6902
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$d$ [mm]	250	400	647
$x$ [mm]	41,5	64,5	101,3
$z$ [mm]	233,4	374,2	606,5
$M_{Rd}$ [kNm/m]	<b>118,79</b>	<b>296,23</b>	<b>753,48</b>

## 4.5 Rámové mosty

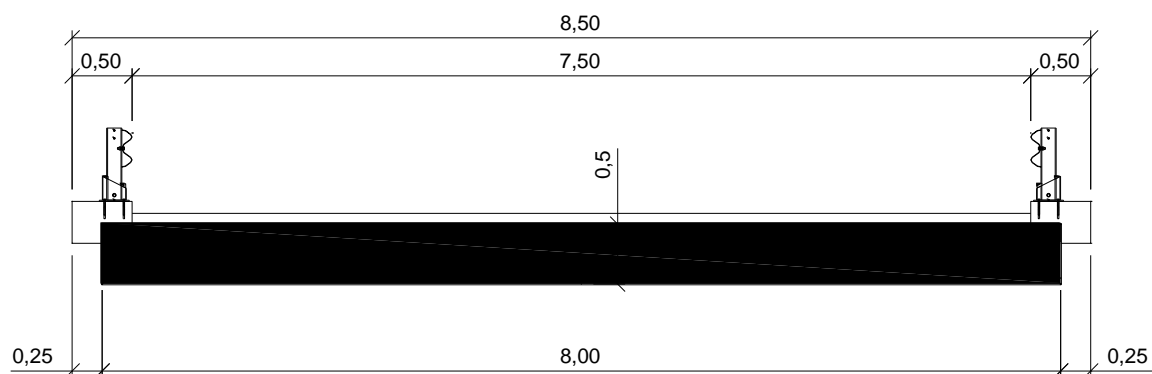
Navržená příčná uspořádání



Obrázek 34 - rámový most, rozpětí 4 m



Obrázek 35 - rámový most, rozpětí 8 m



Obrázek 36 - rámový most, rozpětí 12 m

#### 4.5.1 Stálé zatížení

Stálá zatížení budou opět zjednodušeně uvažovány tak, že je celá deska rámu zatížena rovnoměrně. Přesnějším výpočtem by byly nejvíce namáhány krajní části desky rámu. Rozdíl by byl však malý, protože většinu stálého zatížení tvoří hmotnost desky.

Zatížení od zásypu za opěrami bude modelováno jako aktivní a klidový tlak. Výsledné vnitřní síly od zásypu budou obálkou těchto dvou zemních tlaků. Zásyp se uvažuje ze štěrkodrti.

Vlastní tíha konstrukce			$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$f_g$
Deska tl.	proměnná		25	
Římsy	A= 0,27	m <sup>2</sup>	25	0,90 kN/m <sup>2</sup>
Svodidla	1 kN/m			0,27 kN/m <sup>2</sup>
Vozovka	90 mm		18	1,62 kN/m <sup>2</sup>

Výšky desek jsou pro jednotlivé rámové mosty:

Navržená tloušťka desky			
rozpětí [m]	4	8	12
h [mm]	250	350	500

Zatížení od vlastní tíhy na m<sup>2</sup> desky:

Stálé zatížení desky v kN/m <sup>2</sup>			
rozpětí [m]	4	8	12
ŽB deska	6,25	8,75	12,50
Římsy	0,90	0,90	0,90
Svodidlo	0,27	0,27	0,27
Vozovka	1,62	1,62	1,62
<b>Celkem</b>	<b>9,04</b>	<b>11,54</b>	<b>15,29</b>

Zatížení zemním tlakem bude spočteno a dosazeno pouze pro rámový most s rozpětím 4 m. Zbytek bude vyhodnocen v tabulce. Charakteristiky zeminy jsou uvažovány následovně:  $\varphi = 37^\circ$ ,  $\gamma_z = 19 \text{ kN/m}^3$ .

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 37^\circ = 0,398$$

$$K_A = \operatorname{tg} (45 - \varphi/2)^2 = \operatorname{tg} (45 - 37/2)^2 = 0,249$$

$$\sigma_v = v \cdot \gamma_z = 3,5 \cdot 19 = 66,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_0 = K_0 \cdot \sigma_v = 0,398 \cdot 66,5 = 26,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_A = K_A \cdot \sigma_v = 0,249 \cdot 66,5 = 16,53 \text{ kN/m}^2$$

kde  $K_0$  je koeficient zemního tlaku v klidu

$K_A$  je koeficient aktivního zemního tlaku

$\varphi$  je úhel vnitřního tření zeminy

$v$  je výška opěry

$\sigma_v$  je svislý zemní tlak

$\sigma_0$  je klidový zemní tlak (velikost v patě stěny)

$\sigma_A$  je aktivní zemní tlak (velikost v patě stěny)

Zatížení na ostatní rámové mosty je vypočteno v tabulce:

Zatížení zemním tlakem			
rozpětí [m]	4	8	12
výška stěny [m]	3,5	5	6
$\gamma_z [\text{kN/m}^3]$	19	19	19
$\varphi [^\circ]$	37	37	37
$K_0$	0,398	0,398	0,398
$K_A$	0,249	0,249	0,249
$\sigma_v [\text{kN/m}^2]$	66,5	95	114
$\sigma_0 [\text{kN/m}^2]$	26,48	37,83	45,39
$\sigma_A [\text{kN/m}^2]$	16,53	23,62	28,34



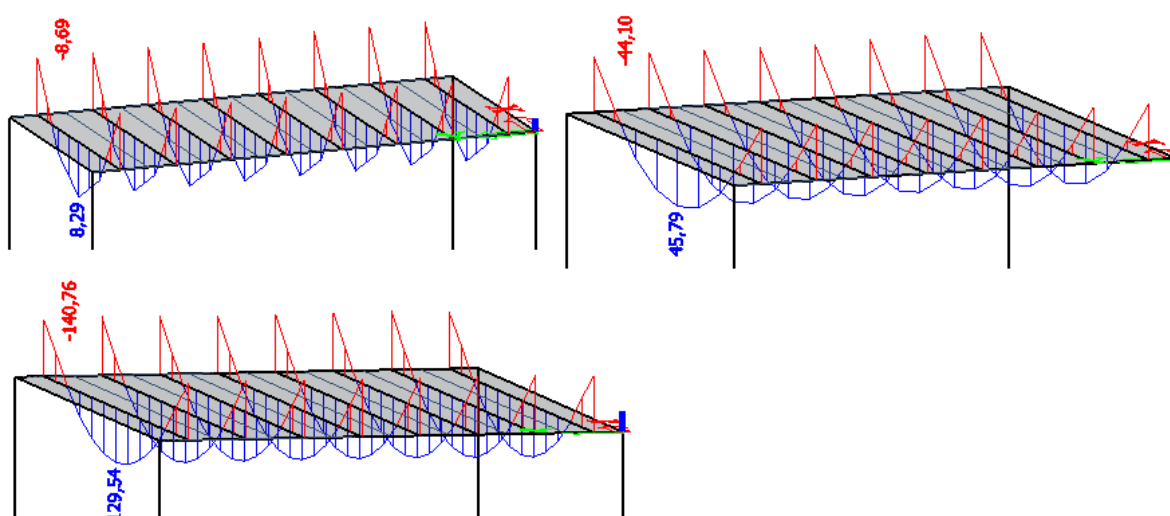
### 4.5.2 Proměnné zatížení

Proměnné zatížení bude naprosto shodné s deskovými mosty. Pouze bude vyhodnocováno ve dvou průřezích: v poli desky a v rámovém rohu. Zatěžovací schémata jsou zobrazena v části práce proměnné zatížení deskových mostů.

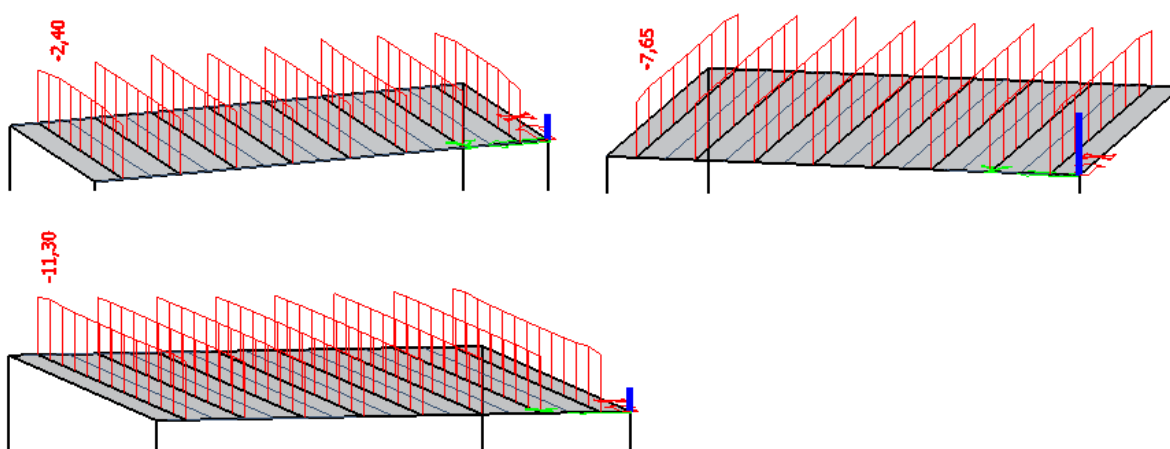
### 4.5.3 Vnitřní síly

Vnitřní síly z 3D modelu budou opět spočítány programem SCIA Engineer 16.0. Rámové desky jsou modelovány obdobně jako mosty deskové. Tudíž jsou výsledky uvedeny na metr běžný.

Vnitřní síly od zatížení vlastní tíhou:



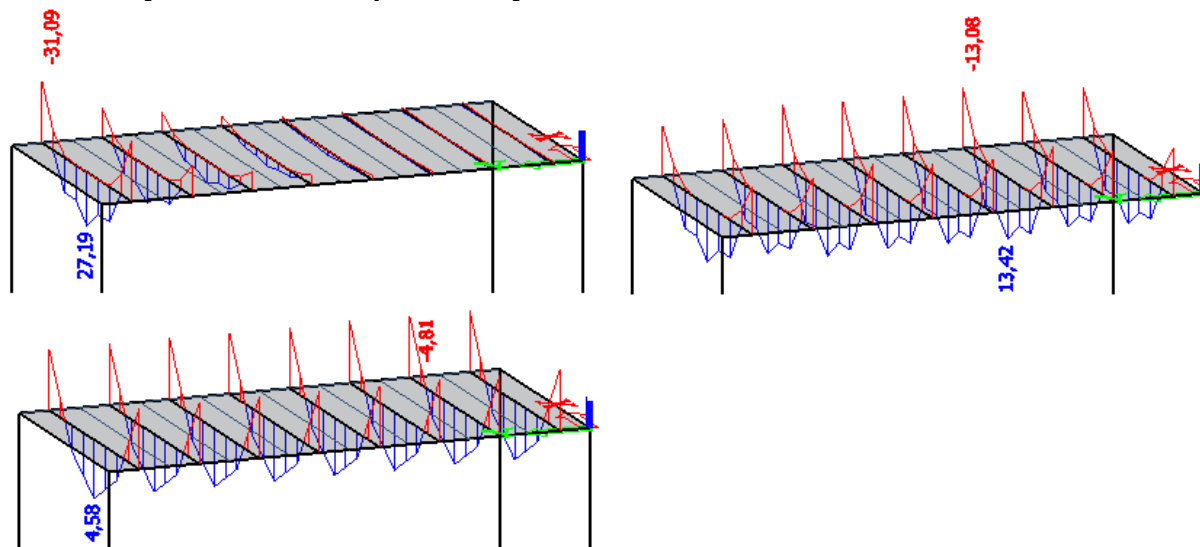
Vnitřní síly od zemních tlaků – z tabulky zemních tlaků je zřejmé že rozhodující bude tlak klidový. Proto zde budou uvedeny pouze momenty od tohoto zemního tlaku:



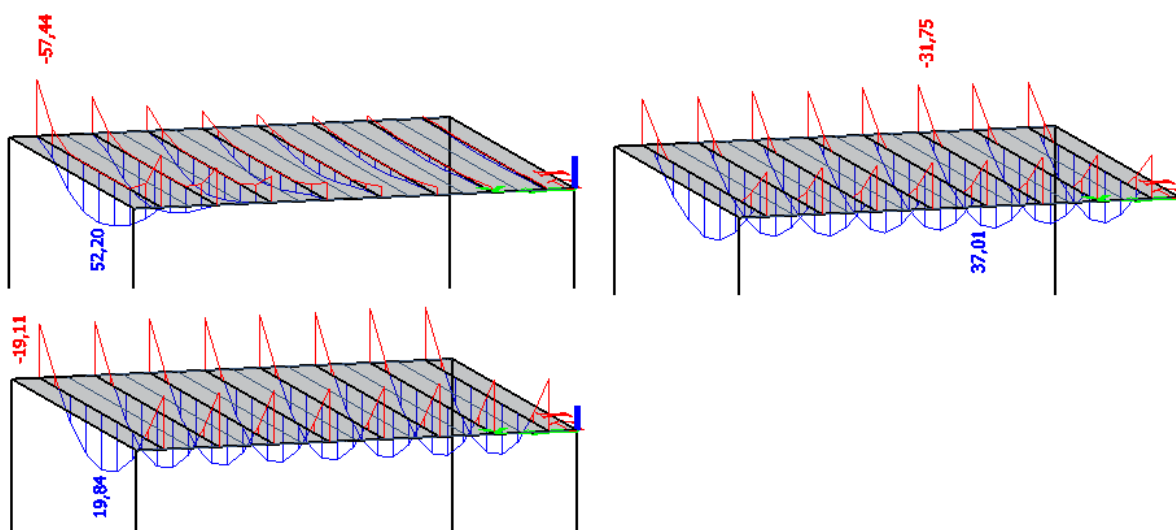
Momenty od stálých zatížení shrnuty v tabulce:

Moment od stálého zatížení v poli			
rozpětí [m]	4	8	12
M [kNm/m]	<b>8,3</b>	<b>45,8</b>	<b>129,5</b>
Moment od stálého zatížení v rohu			
rozpětí [m]	4	8	12
M [kNm/m]	<b>-8,6</b>	<b>-44,1</b>	<b>-140,8</b>
Moment od zemních tlaků (v poli i v rohu)			
rozpětí [m]	4	8	12
klid. [kNm/m]	<b>-2,4</b>	<b>-7,7</b>	<b>-11,3</b>
akti. [kNm/m]	-1,5	-5,7	-7,1

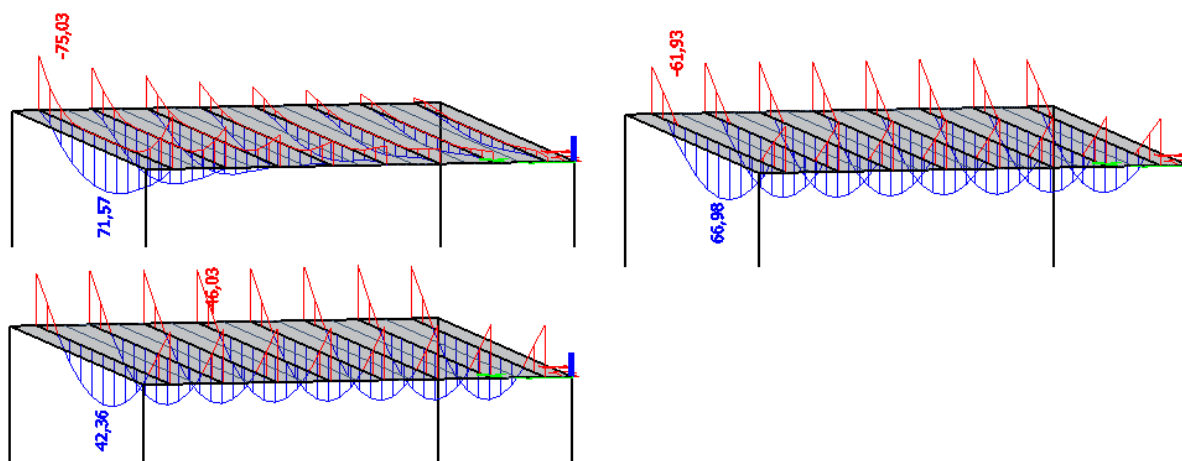
Obálky momentů od proměnných zatížení:



Obrázek 37 - momenty od pohyblivých zatížení - rám, rozpětí 4 m



Obrázek 38 - momenty od pohyblivých zatížení - rám, rozpětí 8 m



Obrázek 39 - momenty od pohyblivých zatížení - rám, rozpětí 12 m

Shrnutí momentů od proměnných zatížení s vyznačením rozhodujících:

Moment od proměnného zatížení v poli - charakt.			
rozpětí [m]	4	8	12
alt. 1 [kNm/m]	<b>27,2</b>	<b>52,2</b>	<b>71,6</b>
alt. 2 [kNm/m]	13,4	37,0	67,0
alt. 3 [kNm/m]	4,6	19,8	42,4
Moment od proměnného zatížení v rohu - charakt.			
rozpětí [m]	4	8	12
alt. 1 [kNm/m]	<b>-31,1</b>	<b>-57,4</b>	<b>-75,0</b>
alt. 2 [kNm/m]	-13,1	-31,8	-61,9
alt. 3 [kNm/m]	-4,8	-19,1	-44,6

Zatížení pro určení dynamického součinitele:

Hodnoty pro dynamický součinitel			
L [m]	4	8	12
G [kN]	<b>289,2</b>	<b>738,3</b>	<b>1467,5</b>
P alt. 1 [kN]	240,0	240,0	240,0
P alt. 2 [kN]	<b>360,0</b>	<b>440,0</b>	<b>600,0</b>
P alt. 3 [kN]	160,0	320,0	480,0

Dynamický součinitel poté vychází:

Dynamický součinitel proměnného zatížení			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta$	1,36	1,23	1,17
$\delta_{\max}$	1,40	1,40	1,40
posouzení	OK	OK	OK

Návrhové momenty od proměnného zatížení:

Momenty v poli od proměnného zatížení - návrhový			
rozpětí [m]	4	8	12
M [kNm]	37,1	64,3	84,0
Momenty v rohu proměnného zatížení - návrhový			
rozpětí [m]	4	8	12
M [kNm]	-42,4	-70,7	-88,0

Celkové dimenzační momenty získáme sečtením momentů od vlastní tíhy, zemních tlaků a návrhovým momentem od proměnného zatížení:

Celkový moment v poli od stálého a proměnného zat.			
rozpětí [m]	4	8	12
Med [kNm]	43,0	102,4	202,2
Celkový moment v rohu od stálého a proměnného zat.			
rozpětí [m]	4	8	12
Med [kNm]	-53,4	-122,5	-240,1

### Návrh a posouzení výztuže

#### PRŮŘEZ V POLI

Výztuž se odhadne na základě ramene vnitřních sil a následně se posoudí. Pro hlavní nosnou výztuž se předpokládá Ø16 v jedné řadě, krytí výztuže se uvažuje 30 mm. Smyková výztuž Ø10. V tomto případě je dovolené namáhání ocele  $k_a = 140$  MPa a betonu  $k_b = 13,2$  MPa, protože je tlačena deska, která má výšku větší než 200 mm. Koeficient  $n$ , vyjadřující rozdílné moduly pružnosti je opět roven 15. Výpočet s dosazením bude pro rám s rozpětím 4 m.

$$z = 0,9 * h = 0,9 * (250 - 30 - 10 - 0,5 * 16) = 0,9 * 202 = 181,8 \text{ mm}$$

$$A_{s,rd} = \frac{M_{Ed}}{z * k_a} = \frac{43,0 * 10^6}{181,8 * 140} = 1689 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{NÁVRH } 10\text{Ø}16/\text{m}; A_{s,prov} = 2011 \text{ mm}^2$$

Pro výpočet výšky tlačené oblasti bude použit vzorec, užívaný pro obdélníkové průřezy (dle dovolených namáhání)

$$x = \frac{n * A_{s,prov}}{b} * \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2b * h}{n * A_{s,prov}}} \right) =$$

$$\frac{15 * 2011}{1000} * \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000 * 202}{15 * 2011}} \right) = 84 \text{ mm}$$

$$z = h - \frac{x}{3} = 202 - \frac{84}{3} = 174 \text{ mm}$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed}}{z * A_{s,prov}} = \frac{43,0 * 10^6}{174 * 2011} = 123,0 \text{ MPa}$$

$\sigma_a < 140 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

Napětí v tlačeném betonu

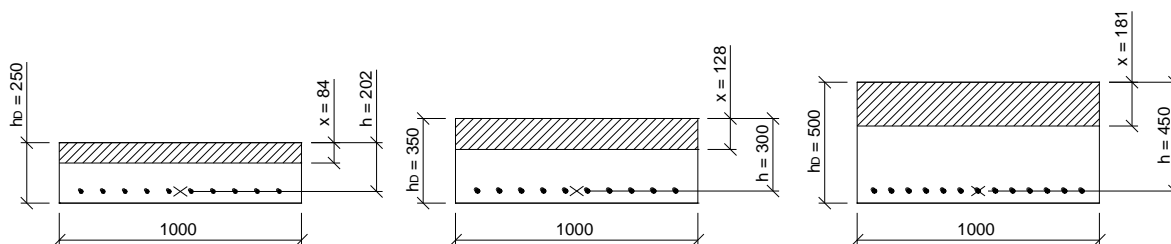
$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} * \frac{x}{h - x} = \frac{123,0}{15} * \frac{84}{202 - 84} = 5,9 \text{ MPa}$$

$\sigma_b < 13,2 \text{ MPa}$  **Vyhovuje**

### NÁVRH VÝZTUŽE 10Ø16/m VYHOVUJE

Zde byl popsán způsob výpočtu únosnosti průřezu v poli rámového mostu o rozpětí 4 m. Návrh a posouzení ostatních typických mostů (v poli) je v následující tabulce:

Průřez v poli			
rozpětí [m]	4	8	12
$M_{ed}$ [kNm]	43,0	102,4	202,2
$h_b$ [mm]	250	350	500
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$k_a$ [MPa]	140	140	140
$n$ [-]	15	15	15
$\emptyset$ [mm]	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
$\emptyset_{tr}$ [mm]	10	10	10
$c$ [mm]	30	30	30
$h$ (odhad)	202	300	450
$z$ (odhad)	181,8	270	405
$A_{s,rqd}$ [mm <sup>2</sup> ]	1689	2710	3566
<b><math>k_s</math> výztuže</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>13</b>
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2011	3142	4084
$h$ [mm]	202	300	450
$x$ [mm]	84	128	181
$z$ [mm]	174	257	390
$\sigma_a$ [MPa]	<b>123,0</b>	<b>126,6</b>	<b>127,1</b>
$k_a$ [MPa]	<b>140</b>	<b>140</b>	<b>140</b>
<b>napětí výz.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
$\sigma_b$ [MPa]	<b>5,9</b>	<b>6,2</b>	<b>5,7</b>
$k_{bd}$ [MPa]	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>
<b>napětí bet.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>



Obrázek 40 - průřezy v poli

### Přepočet podle ČSN 1992-1-1

Efektivní výška průřezu je stejná, protože se nemění poloha výztuže ani výška průřezu. Změna je pouze v označení:  $d = h$

$$d = 202 \text{ mm}$$

Tlačenou část vypočítáme na základě rovnosti sil ve výztuži a betonu.

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2011 \cdot 180}{0,8 \cdot 1000 \cdot 15,3} = 29,5 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 x = 202 - 0,4 \cdot 29,5 = 190,2 \text{ mm}$$

Moment únosnosti

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot z = 2011 \cdot 190,2 \cdot 10^{-6} = \mathbf{68,84 \text{ kNm/m}}$$

Výše uvedený výpočet je pro rámový most o rozpětí 4 m, průřez v poli. Přepočet mostů (průřez v poli) ostatních rozpětí je uveden v tabulce:

Únosnost v poli podle ČSN EN 1992-1-1			
rozpětí [m]	4	8	12
$f_{ck}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3
$f_{yd}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2011	3142	4084
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$d$ [mm]	202	300	450
$x$ [mm]	29,5	46,1	59,9
$z$ [mm]	190,2	281,6	426,0
$M_{Rd}$ [kNm]	<b>68,84</b>	<b>159,22</b>	<b>313,19</b>

### PRŮŘEZ V ROHU

Hlavní nosná výztuž se předpokládá Ø16 v jedné řadě, krytí výztuže se uvažuje 30 mm. Smyková výztuž Ø10. V tomto případě je dovolené namáhání ocele  $k_a = 140 \text{ MPa}$  a betonu  $k_b = 13,2 \text{ MPa}$ , protože je tlačena deska, která má

výšku větší než 200 mm. Koeficient  $n$ , vyjadřující rozdílné moduly pružnosti je opět roven 15. Výpočet s dosazením bude pro rám s rozpětím 4 m.

$$z = 0,9 * h = 0,9 * (250 - 30 - 10 - 0,5 * 16) = 0,9 * 202 = 181,8 \text{ mm}$$

$$A_{s,rd} = \frac{M_{Ed}}{z * k_a} = \frac{-53,4 * 10^6}{181,8 * 140} = 2361 \text{ mm}^2$$

$$\rightarrow \text{NÁVRH } 11\emptyset 16/\text{m}; A_{s,prov} = 2212 \text{ mm}^2$$

Pro výpočet výšky tlačené oblasti bude použit vzorec, užívaný pro obdélníkové průřezy (dle dovolených namáhání)

$$x = \frac{n * A_{s,prov}}{b} * \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2b * h}{n * A_{s,prov}}} \right) =$$

$$\frac{15 * 2212}{1000} * \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 * 1000 * 202}{15 * 2212}} \right) = 87 \text{ mm}$$

$$z = h - \frac{x}{3} = 202 - \frac{87}{3} = 173 \text{ mm}$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_a = \frac{M_{Ed}}{z * A_{s,prov}} = \frac{-53,4 * 10^6}{174 * 2212} = 139,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a < 140 \text{ MPa} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

Napětí v tlačeném betonu

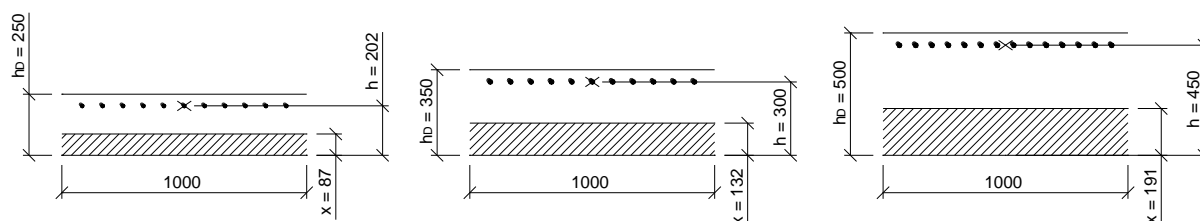
$$\sigma_b = \frac{\sigma_a}{n} * \frac{x}{h - x} = \frac{139,7}{15} * \frac{87}{202 - 87} = 7,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < 13,2 \text{ MPa} \quad \textbf{Vyhovuje}$$

**NÁVRH VÝZTUŽE 11Ø16/m VYHOVUJE**

Zde byl popsán způsob výpočtu únosnosti průřezu v rohu rámového mostu o rozpětí 4 m. Návrh a posouzení ostatních typických mostů (v rohu) je v následující tabulce:

Průřez v rohu			
rozpětí [m]	4	8	12
Med [kNm]	-53,4	-122,5	-240,1
h [mm]	250	350	500
b [mm]	1000	1000	1000
k <sub>a</sub> [MPa]	140	140	140
n [-]	15	15	15
Ø [mm]	16	20	20
Ø <sub>tr</sub> [mm]	10	10	10
c [mm]	30	30	30
h (odhad)	202	300	450
z (odhad)	162	240	360
A <sub>s,rd</sub> [mm <sup>2</sup> ]	2361	3646	4764
<b>ks výztuže</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>15</b>
A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ]	2212	3456	4712
h [mm]	202	300	450
x [mm]	87	132	191
z [mm]	173	256	386
σ <sub>a</sub> [MPa]	139,7	138,5	131,9
k <sub>a</sub> [MPa]	140	140	140
<b>napětí výz.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
σ <sub>b</sub> [MPa]	7,1	7,3	6,5
k <sub>bd</sub> [MPa]	13,2	13,2	13,2
<b>napětí bet.</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>



Obrázek 41 - průřezy v rohu

### Přepočet podle ČSN 1992-1-1

Efektivní výška průřezu je stejná, protože se nemění poloha výztuže ani výška průřezu. Změna je pouze v označení:  $d = h$

$$d = 202 \text{ mm}$$

Tlačenou část vypočítáme na základě rovnosti sil ve výztuži a betonu.

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2212 \cdot 180}{0,8 \cdot 1000 \cdot 15,3} = 32,5 \text{ mm}$$

Rameno vnitřních sil

$$z = d - 0,4 x = 202 - 0,4 \cdot 32,5 = 189,0 \text{ mm}$$



## Moment únosnosti

$$M_{Rd} = A_{s,prov} * z = 2212 * 189,0 * 10^{-6} = \mathbf{75,25 \text{ kNm/m}}$$

Výše uvedený výpočet je pro rámový most o rozpětí 4 m, průřez v rohu. Přepočet mostů (průřez v rohu) ostatních rozpětí je uveden v tabulce:

Únosnost v rohu podle ČSN EN 1992-1-1			
rozpětí [m]	4	8	12
$f_{ck}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3
$f_{yd}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2212	3456	4712
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$d$ [mm]	202	300	450
$x$ [mm]	32,5	50,7	69,1
$z$ [mm]	189,0	279,7	422,3
$M_{Rd}$ [kNm]	<b>75,25</b>	<b>173,99</b>	<b>358,24</b>

## 5. Zatížitelnost před zesílením

Zatížitelnost typických mostů bude důležitá z hlediska porovnání jednotlivých variant zesílení.

Vpočet zatížitelnosti se bude řídit ČSN 73 6222 „Zatížitelnost pozemních komunikací“ společně s TP 200. Použije se takzvaný kombinovaný statický výpočet zatížitelnosti mostu PK. Podle zmíněné normy se pro mosty navržené podle dříve platných předpisů použijí dva vztahy pro určení  $E_{da}$  a  $E_{db}$ . V tomto případě momentů  $M_{Eda}$  a  $M_{Edb}$ . Zatížitelnost prvku se stanoví z minima vypočtených hodnot  $\delta * M_{q,a}$  a  $\delta * M_{q,b}$ . Tedy:

$$1) E_{da} = \gamma_{G,sup} * G_k + \psi_{01} * \gamma_{Q1} * Q_{k1}$$

$$2) E_{db} = \xi * \gamma_{G,sup} * G_k + \gamma_{Q1} * Q_{k1}$$

Hodnoty součinitelů jsou následující:

$$\gamma_{G,sup} = \gamma_{Q1} = 1,35$$

$$\psi_{01} = 0,75$$

$$\xi = 0,85$$

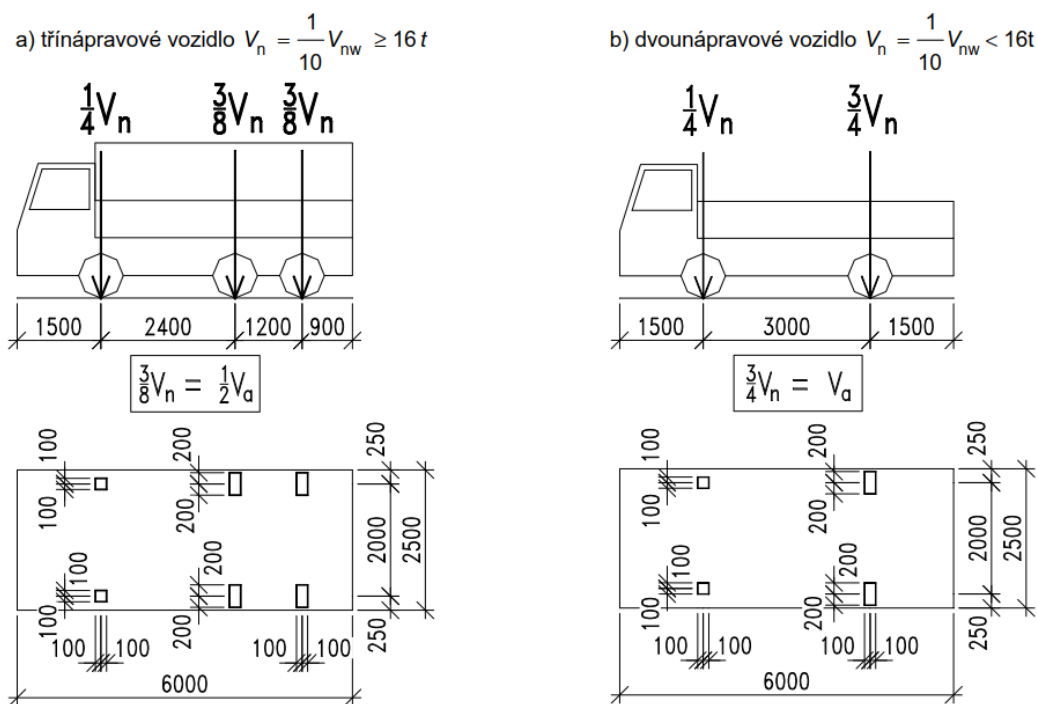
Zatížitelnost se pak stanoví z rovnosti části momentu únosnosti ( $\delta * M_{q,a}$  nebo  $\delta * M_{q,b}$ ) připadající na zatížení pohyblivé, s momentovými účinky vyvolanými

soustavou vozidel z ČSN 73 6222. Pro zjednodušení a urychlení výpočtu budu v této práci počítat pouze normální zatížitelnost.

Normální zatížitelnost je definována jako: „Největší okamžitá celková hmotnost jednoho vozidla, které může přejíždět most bez dopravních omezení, v libovolném počtu a bez omezení provozu chodců a cyklistů“ [14].

## 5.1 Zatěžovací schéma

V této práci byla navržena zatěžovací šířka konstrukcí shodná 7,5 m. Jedná se o případ  $w > 6,0$  m. Šířka jednoho zatěžovacího pruhu je 3,0 m. Na konstrukci se vejdou dva zatěžovací pruh, které vyvodí největší momenty, pokud budou vedle sebe u kraje mostu. Na zbylou šířku 1,5 se umístí samotné rovnoměrné zatížení. Pro stanovení normální zatížitelnosti se použijí dva typy vozidel:



POZNÁMKA Zatížení přední nápravou vozidla  $\frac{1}{4} V_{nw}$  je nahrazeno ekvivalentním rovnoměrným zatížením v příslušném zatěžovacím pruhu ( $2,5v_n$  v zatěžovacím pruhu č. 1 a č. 2, resp.  $v_n$  v zatěžovacím pruhu č. 3 a č. 4)

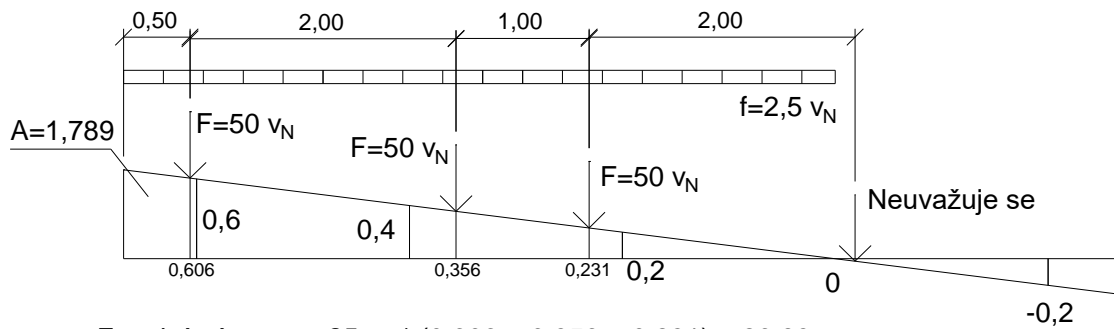
Obrázek 42 - Zatěžovací schéma dvou a třínápravy [14]

## 5.2 Trámové mosty – prostý nosník

Trámové mosty budou i v tomto případě počítány přes příčný roznos. V práci bylo již řečeno, že to možné pouze za předpokladu dokonale tuhého ztužidla.

Příčný roznos je následující:

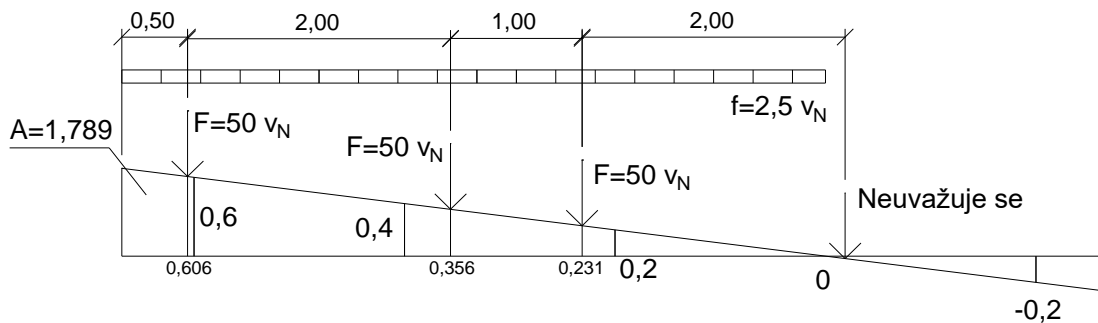
### Třínápravové vozidlo - příčný směr



$$F \text{ zadní nápravy} = 25 v_N * (0,606 + 0,356 + 0,231) = 29,83 v_N$$

$$f = 2,5 * 1,789 = 4,47 v_N$$

### Dvounápravové vozidlo - příčný směr

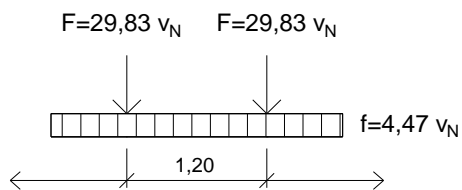


$$F \text{ náprava} = 50 v_N * (0,606 + 0,356 + 0,231) = 59,65 v_N$$

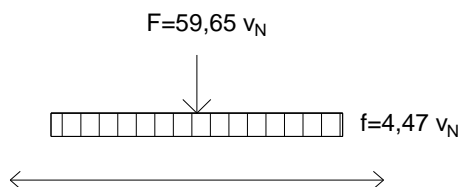
$$f = 2,5 * 1,789 = 4,47 v_N$$

### Podélný směr:

#### Třínápravové vozidlo - podélný směr

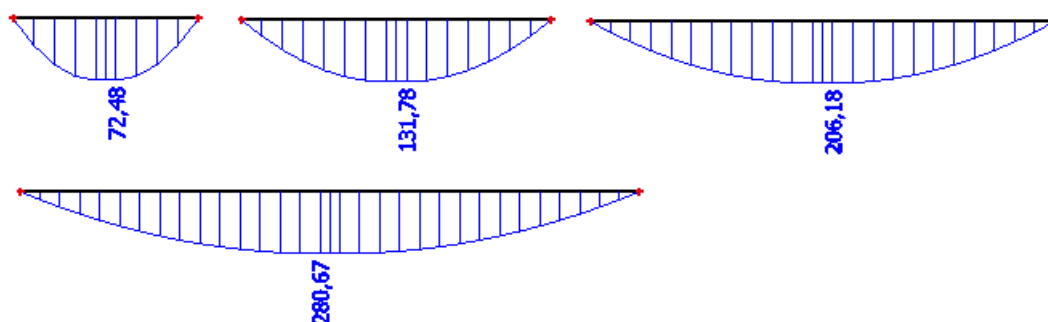


#### Dvounápravové vozidlo - podélný směr



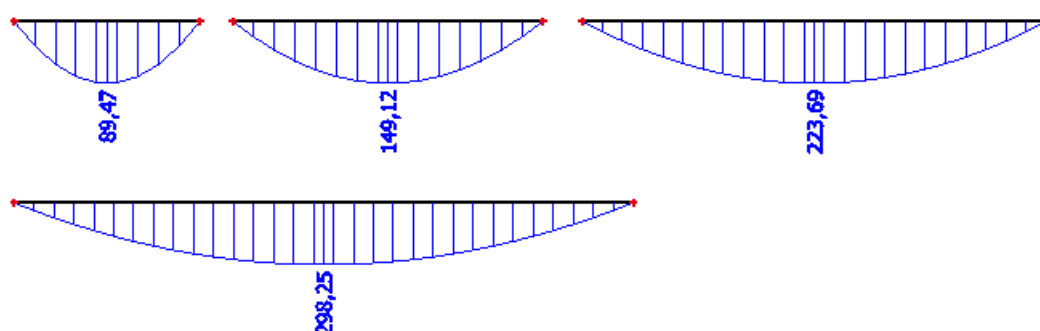
Pohyblivé zatížení bude opět spočteno programem SCIA Engineer 16.0. Zatížení silové a rovnoměrné budou počítána samostatně, kvůli vyčíslení neznámé  $v_N$ . Od silových účinků jsou obálky pro prosté trémové mosty:

a) 3NV:



Obrázek 43 - momenty od 3NV

b) 2NV



Obrázek 44 - momenty od 2NV

Výpočet s dosazením hodnot bude uveden pro prostý trám o rozpětí 6 m. Zbytek bude dopočten v tabulce. Převedením vzorců uvedených na začátku kapitoly zatížitelnosti na momentové rovnice dostáváme:

$$M_{Rd} = \gamma_{G,sup} * M_g + \psi_{01} * \gamma_{Q1} * \delta * M_{q,a}$$

$$\delta * M_{q,a} = (M_{Rd} - \gamma_{G,sup} * M_g) / (\psi_{01} * \gamma_{Q1})$$

$$\delta * M_{q,a} = (385,91 - 1,35 * 62,29) / (0,75 * 1,35) = 298,10 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \xi * \gamma_{G,sup} * M_g + \gamma_{Q1} * \delta * M_{q,b}$$

$$\delta * M_{q,b} = (M_{Rd} - \xi * \gamma_{G,sup} * M_g) / \gamma_{Q1}$$

$$\delta * M_{q,b} = (389,91 - 0,85 * 1,35 * 62,29) / 1,35 = 232,91 \text{ kNm}$$

Rozhoduje menší u hodnot, tedy varianta  $M_{q,b}$

Následně se určí normální zatížitelnost, za použití 2NV ze vztahu:

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{qp,1} + \delta * M_{qv,1} + M_{ch,1}$$

$$\delta * M_{qp,1} = 1,20 * (1/8) * 4,48 \text{ v}_N * 6^2 = 24,15 \text{ v}_N$$

$$\delta * M_{qv,1} = 1,20 * 89,47 \text{ v}_N = 107,36 \text{ v}_N$$

$$M_{ch,1} = 0 \text{ (navržené mosty nemají zatěžovací plochu chodníků)}$$

$$232,91 = 24,15 \text{ v}_N + 107,36 \text{ v}_N$$

$$v_N = 1,771 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 * v_N = 100 * 1,771 = 177,1 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 * V_a = 4/3 * 177,1 = 236,13 \text{ kN} = \mathbf{23,6 \text{ t}}$$

Zatížitelnost pro 2NP vyšla více než 16 t, je nutné uvažovat 3NV. Výpočet s 3NV je velice podobný, jedinou změnou je moment od pohyblivých náprav  $M_{qv,1}$ .

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{qp,1} + \delta * M_{qv,1} + M_{ch,1}$$

$$\delta * M_{qp,1} = 1,20 * (1/8) * 4,48 v_N * 6^2 = 24,15 v_N$$

$$\delta * M_{qv,1} = 1,20 * 72,48 v_N = 86,98 v_N$$

$$M_{ch,1} = 0$$

$$232,91 = 24,15 v_N + 86,98 v_N$$

$$v_N = 2,096 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 * v_N = 100 * 2,096 = 209,6 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 * V_a = 4/3 * 209,6 = 279,46 \text{ kN} = \mathbf{27,9 \text{ t}}$$

Výpočet zatížitelnosti ostatních typických prostých trémových mostů je následující:

Normální zatížitelnost trémových mostů				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$\delta$ [-]	1,20	1,20	1,20	1,22
rovnoměrné zatížení [kNm]	20,13	55,91	125,79	223,63
třínápravové vozidlo [kNm]	72,48	131,78	206,18	280,67
dvounápravové vozidlo [kNm]	89,47	149,12	223,69	289,25
$\delta * f$ [kNm]	24,15	67,09	150,95	272,82
$\delta * 3NP$ [kNm]	86,98	158,14	247,42	342,42
$\delta * 2NP$ [kNm]	107,36	178,94	268,43	352,89

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. A				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$M_{Rd}$ [kNm]	385,91	677,96	1630,50	2887,50
$M_g$ [kNm]	62,29	189,43	524,66	1192,10
$Y_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35	1,35
$\psi_{01}$	0,75	0,75	0,75	0,75
$Y_{Q1}$	1,35	1,35	1,35	1,35
$\delta * M_{qa}$ [kNm]	298,10	417,01	910,83	1262,38

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. B				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$M_{Rd}$ [kNm]	385,91	677,96	1630,50	2887,50
$M_g$ [kNm]	62,29	189,43	524,66	1192,10
$V_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35	1,35
$\xi$	0,85	0,85	0,85	0,85
$V_{Q1}$	1,35	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qb}$ [kNm]	<b>232,91</b>	<b>341,17</b>	<b>761,82</b>	<b>1125,60</b>

Zatížitelnost - 2NP				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	232,91	341,17	761,82	1125,60
$\delta \cdot f$ [kNm]	24,15	67,09	150,95	272,82
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	107,36	178,94	268,43	352,89
$v_N$	1,771	1,387	1,817	1,799
$V_a$	177,10	138,67	181,66	179,89
$V_{nv}$	236,13	184,89	242,21	239,86
$V_n$ [t]	24	18	24	24

Pro všechny typické mosty vyšla zatížitelnost větší než 16 t. Je třeba uvažovat 3NV.

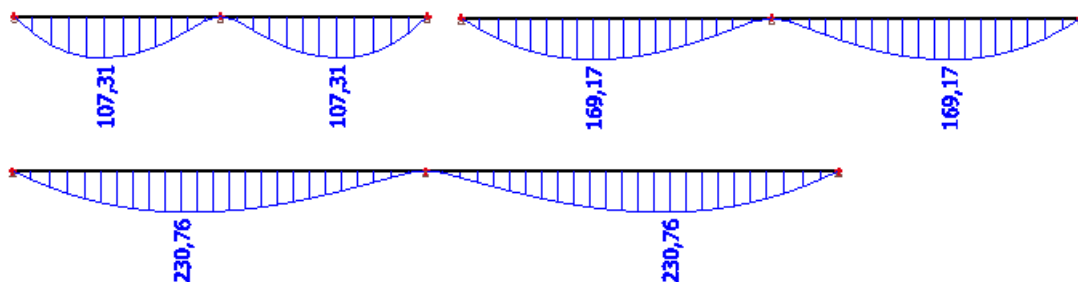
Zatížitelnost - 3NP				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	232,91	341,17	761,82	1125,60
$\delta \cdot f$ [kNm]	24,15	67,09	150,95	272,82
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	86,98	158,14	247,42	342,42
$v_N$	2,096	1,515	1,912	1,830
$V_a$	209,59	151,48	191,24	182,95
$V_{nv}$	279,46	201,98	254,98	243,94
$V_n$ [t]	<b>27,9</b>	<b>20,2</b>	<b>25,5</b>	<b>24,4</b>

## 5.3 Trámové mosty – spojitý nosník

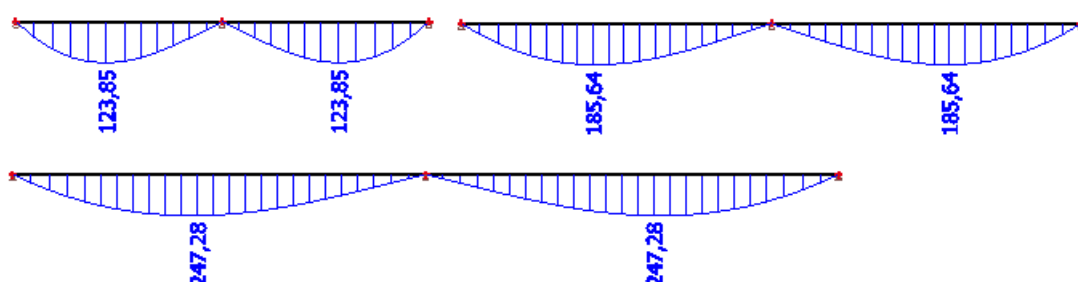
Pro výpočet vnitřních sil od pohyblivých zatížení bude použit stejný příčný roznos jako při výpočtu vnitřních sil na trámových mostech prostě uložených. To je možné díky stejné šířce mostu, stejné osové vzdálenosti trámů a předpokladu dokonalého ztužidla. Na spojitě nosníky se aplikují tedy stejná zatěžovací schémata – 3NV, 2NV a samostatně spojitě zatížení. U spojitého nosníku je třeba posoudit zatížitelnost v poli, i nad podporou. Výslednou zatížitelností je pak menší z hodnot. Obálky momentů pro prosté trámové mosty:

## PRŮŘEZ V POLI

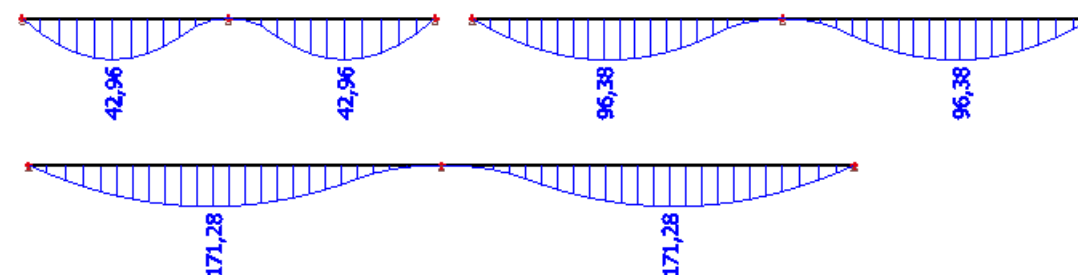
a) 3NV:



b) 2NV:



c) Spojité zatížení



Výpočet s dosazením hodnot bude uveden pro spojitý trám o rozpětí 10 + 10 m. Zbytek bude dopočten v tabulce.

$$M_{Rd} = \gamma_{G,sup} * M_g + \psi_{01} * \gamma_{Q1} * \delta * M_{q,a}$$

$$\delta * M_{q,a} = (M_{Rd} - \gamma_{G,sup} * M_g) / (\psi_{01} * \gamma_{Q1})$$

$$\delta * M_{q,a} = (565,62 - 1,35 * 100,75) / (0,75 * 1,35) = 424,30 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \xi * \gamma_{G,sup} * M_g + \gamma_{Q1} * \delta * M_{q,b}$$

$$\delta * M_{q,b} = (M_{Rd} - \xi * \gamma_{G,sup} * M_g) / \gamma_{Q1}$$

$$\delta * M_{q,b} = (565,62 - 0,85 * 1,35 * 100,75) / 1,35 = 333,34 \text{ kNm}$$

Rozhoduje menší u hodnot, tedy varianta  $M_{q,b}$

Následně se určí normální zatížitelnost, za použití 2NV ze vztahu:

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{qp,1} + \delta * M_{qv,1} + M_{ch,1}$$

$$\delta * M_{qp,1} = 1,20 * 42,96 v_N = 51,55 v_N$$

$$\delta * M_{qv,1} = 1,20 * 123,85 v_N = 148,62 v_N$$

$$M_{ch,1} = 0 \text{ (navržené mosty nemají zatěžovací plochu chodníků)}$$

$$333,34 = 51,55 v_N + 148,62 v_N$$

$$v_N = 1,665 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 * v_N = 100 * 1,665 = 166,5 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 * V_a = 4/3 * 166,5 = 222,04 \text{ kN} = \mathbf{22,2 \text{ t}}$$

Zatížitelnost pro 2NP vyšla více než 16 t, je nutné uvažovat 3NV.

$$\delta * M_{q,b} = \delta * M_{qp,1} + \delta * M_{qv,1} + M_{ch,1}$$

$$\delta * M_{qp,1} = 1,20 * 42,96 v_N = 51,55 v_N$$

$$\delta * M_{qv,1} = 1,20 * 107,31 v_N = 128,77 v_N$$

$$M_{ch,1} = 0$$

$$333,34 = 51,55 v_N + 128,77 v_N$$

$$v_N = 1,849 \text{ kN/m}^2$$

$$V_a = 100 * v_N = 100 * 1,849 = 184,9 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = 4/3 * V_a = 4/3 * 184,9 = 246,48 \text{ kN} = \mathbf{24,6 \text{ t}}$$

Výpočet zatížitelnosti v poli ostatních typických prostých trémových mostů je následující:

Normální zatížitelnost trémových mostů spojitých - v poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta$ [-]	1,20	1,20	1,22
rovnorné zatížení [kNm]	42,96	96,38	171,28
třínápravové vozidlo [kNm]	107,31	169,17	230,98
dvounápravové vozidlo [kNm]	123,85	185,65	247,28
$\delta * f$ [kNm]	51,55	115,66	208,96
$\delta * 3NP$ [kNm]	128,77	203,00	281,79
$\delta * 2NP$ [kNm]	148,62	222,78	301,68

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. A			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$M_{Rd}$ [kNm]	565,62	909,58	1707,49
$M_g$ [kNm]	100,75	266,68	614,47
$V_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\psi_{01}$	0,75	0,75	0,75
$V_{Q1}$	1,35	1,35	1,35



$\delta \cdot M_{qa}$ [kNm]	424,30	542,78	867,12
-----------------------------	--------	--------	--------

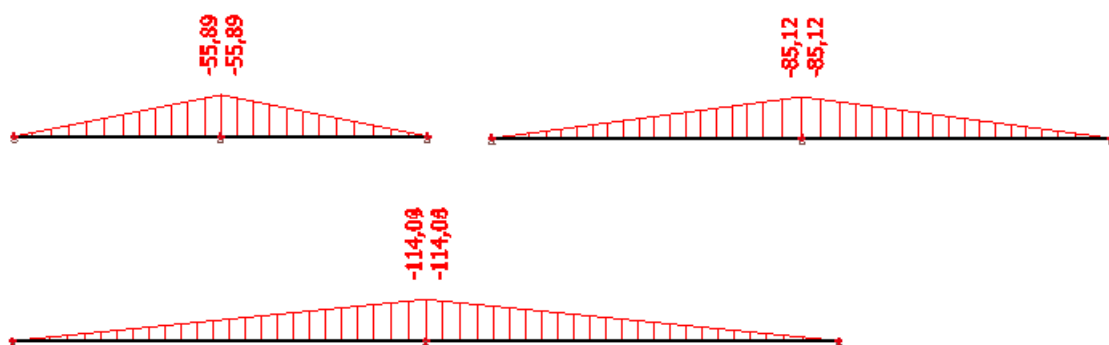
Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. B			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$M_{Rd}$ [kNm]	565,62	909,58	1707,49
$M_g$ [kNm]	100,75	266,68	614,47
$V_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\xi$	0,85	0,85	0,85
$V_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qb}$ [kNm]	<b>333,34</b>	<b>447,09</b>	<b>742,51</b>

Zatížitelnost - 2NP			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	333,34	447,09	742,51
$\delta \cdot f$ [kNm]	51,55	115,66	208,96
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	148,62	222,78	301,68
$V_N$	1,665	1,321	1,454
$V_a$	166,53	132,10	145,41
$V_{nv}$	222,04	176,14	193,88
$V_n$ [t]	22	18	19

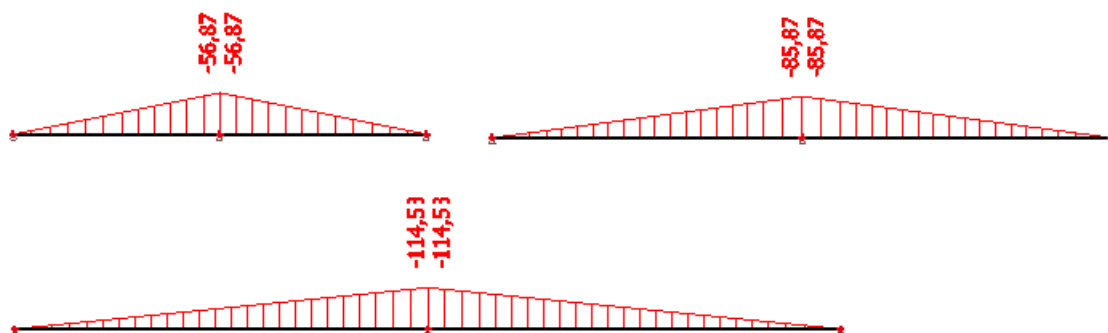
Zatížitelnost - 3NP			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	333,34	447,09	742,51
$\delta \cdot f$ [kNm]	51,55	115,66	208,96
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	128,77	203,00	281,79
$V_N$	1,849	1,403	1,513
$V_a$	184,86	140,30	151,30
$V_{nv}$	246,48	187,07	201,73
$V_n$ [t]	<b>24,6</b>	<b>18,7</b>	<b>20,2</b>

## PRŮŘEZ NAD PODPOROU

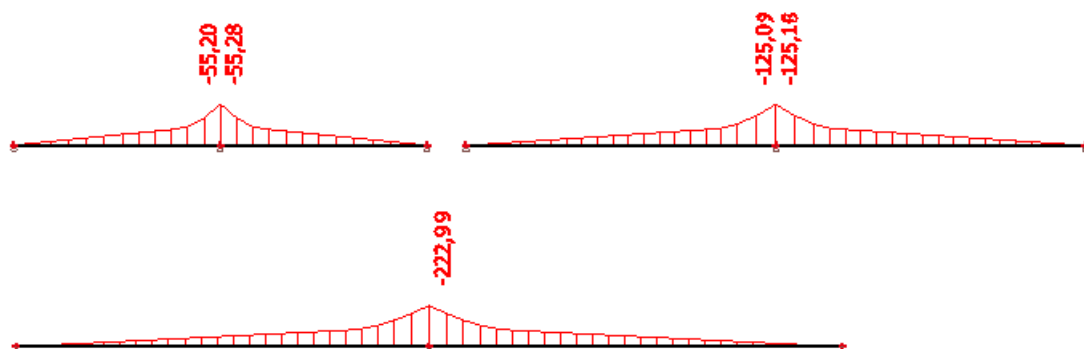
a) 3NV:



b) 2NV:



c) Spojité zatížení



Výpočet zatížitelnosti spojitých trámů s dosazením byl již uveden. Zatížitelnost bude uvedena pouze formou tabulek:

Normální zatížitelnost trémových mostů spojitých - nad podporou			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta$ [-]	1,20	1,20	1,22
rovnorné zatížení [kNm]	-55,28	-125,18	-222,99
třínápravové vozidlo [kNm]	-55,89	-85,12	-114,08
dvounápravové vozidlo [kNm]	-56,87	-85,87	-114,53
$\delta \cdot f$ [kNm]	-66,34	-150,22	-272,05
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	-67,07	-102,14	-139,18
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	-68,24	-103,04	-139,73

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. A			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$M_{Rd}$ [kNm]	-550,62	-1185,02	-2316,91
$M_g$ [kNm]	-177,44	-474,06	-1090,38
$Y_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\psi_{01}$	0,75	0,75	0,75
$Y_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qa}$ [kNm]	-307,23	-538,31	-834,47

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. B			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$M_{Rd}$ [kNm]	-550,62	-1185,02	-2316,91
$M_g$ [kNm]	-177,44	-474,06	-1090,38
$V_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\xi$	0,85	0,85	0,85
$V_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qb}$ [kNm]	<b>-257,04</b>	<b>-474,84</b>	<b>-789,41</b>

Zatížitelnost - 2NP			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	-257,04	-474,84	-789,41
$\delta \cdot f$ [kNm]	-66,34	-150,22	-272,05
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	-68,24	-103,04	-139,73
$v_N$	1,910	1,875	1,917
$V_a$	190,99	187,49	191,71
$V_{nv}$	254,66	249,99	255,61
$V_n$ [t]	25	25	26

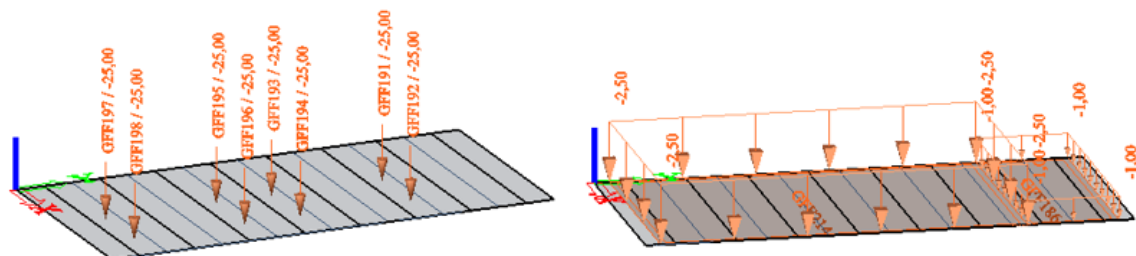
Zatížitelnost - 3NP			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	-257,04	-474,84	-789,41
$\delta \cdot f$ [kNm]	-66,34	-150,22	-272,05
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	-67,07	-102,14	-139,18
$v_N$	1,927	1,882	1,920
$V_a$	192,68	188,16	191,96
$V_{nv}$	256,90	250,88	255,95
$V_n$ [t]	<b>25,7</b>	<b>25,1</b>	<b>25,6</b>

Výsledná celková zatížitelnost:

Normální zatížitelnost spojitých trémových mostů			
V poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
Zatížitelnost [t]	24,6	18,7	20,2
Nad podporou			
Zatížitelnost [t]	25,7	25,1	25,6
Celková zatížitelnost			
<b>Zatížitelnost [t]</b>	<b>24,6</b>	<b>18,7</b>	<b>20,2</b>

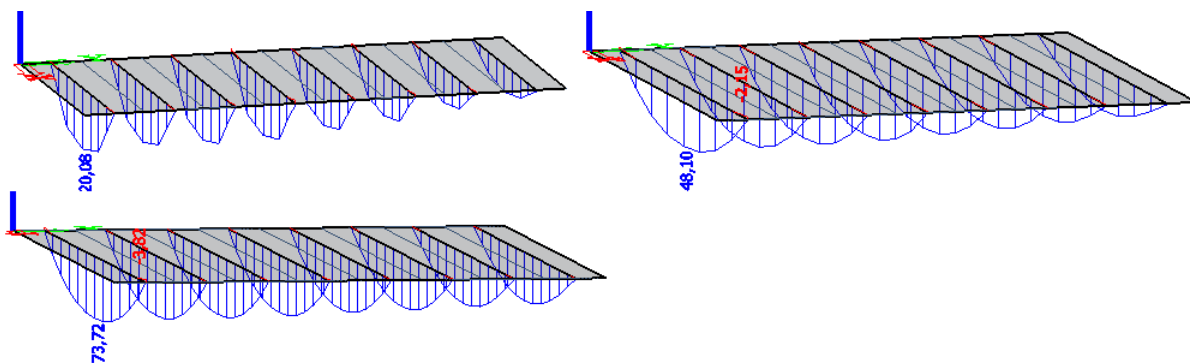
## 5.4 Deskové mosty

Pohyblivé zatížení na deskové mosty je řešeno na stejném 3D modelu jako při samotném návrhu mostů. Zatěžovací pruhy jsou posunuty ke kraji. Ukázka zatížení 3NV a spojitým zatížením:

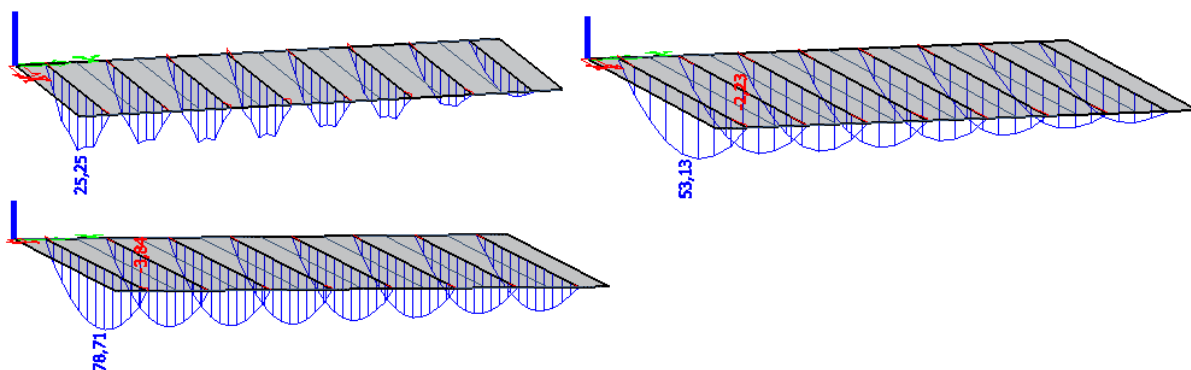


Obálky od pohyblivých zatížení:

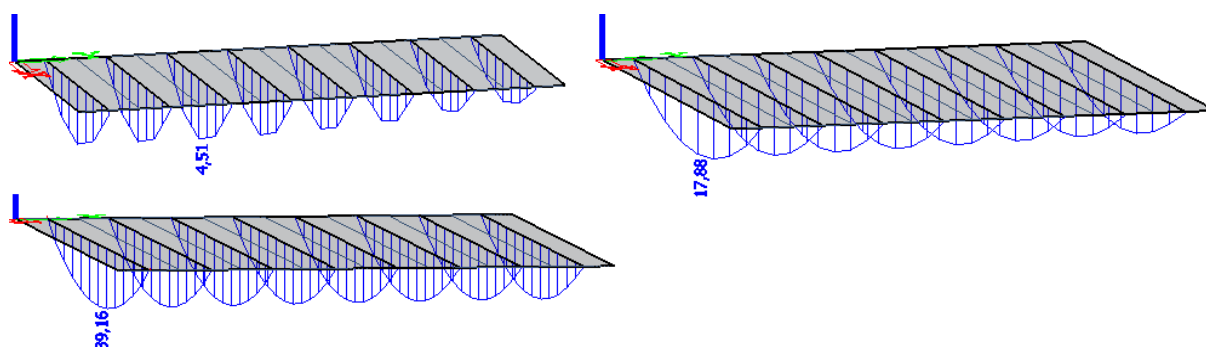
a) 3NV:



b) 2NV:



c) Spojité zatížení



Zatížitelnost se počítá stále stejným způsobem jako u trémových mostů.

Výpočet s dosazením proto již nebudu uvádět.

Normální zatížitelnost deskových mostů			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta$	1,20	1,20	1,20
rovnoměrné zatížení [kNm]	4,40	17,88	39,16
třínápravové vozidlo [kNm]	20,08	48,10	73,72
dvounápravové vozidlo [kNm]	25,25	53,13	78,71
$\delta \cdot f$ [kNm]	5,28	21,46	46,99
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	24,10	57,72	88,46
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	30,30	63,76	94,45

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. A			
rozpětí [m]	4	8	12
MRd [kNm]	118,79	296,23	753,48
Mg [kNm]	20,72	114,85	371,57
$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\psi_{01}$	0,75	0,75	0,75
$\gamma_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qa}$ [kNm]	89,70	139,44	248,76

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. B			
rozpětí [m]	4	8	12
MRd [kNm]	118,79	296,23	753,48
Mg [kNm]	20,72	114,85	371,57
$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\xi$	0,85	0,85	0,85
$\gamma_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qb}$ [kNm]	<b>70,38</b>	<b>121,81</b>	<b>242,30</b>

Zatížitelnost - 2NP			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	70,38	121,81	242,30
$\delta \cdot f$ [kNm]	5,28	21,46	46,99
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	30,30	63,76	94,45
$V_N$	1,978	1,430	1,713
$V_a$	197,81	142,95	171,31
$V_{nv}$	263,74	190,60	228,41
$V_n$ [t]	26	19	23

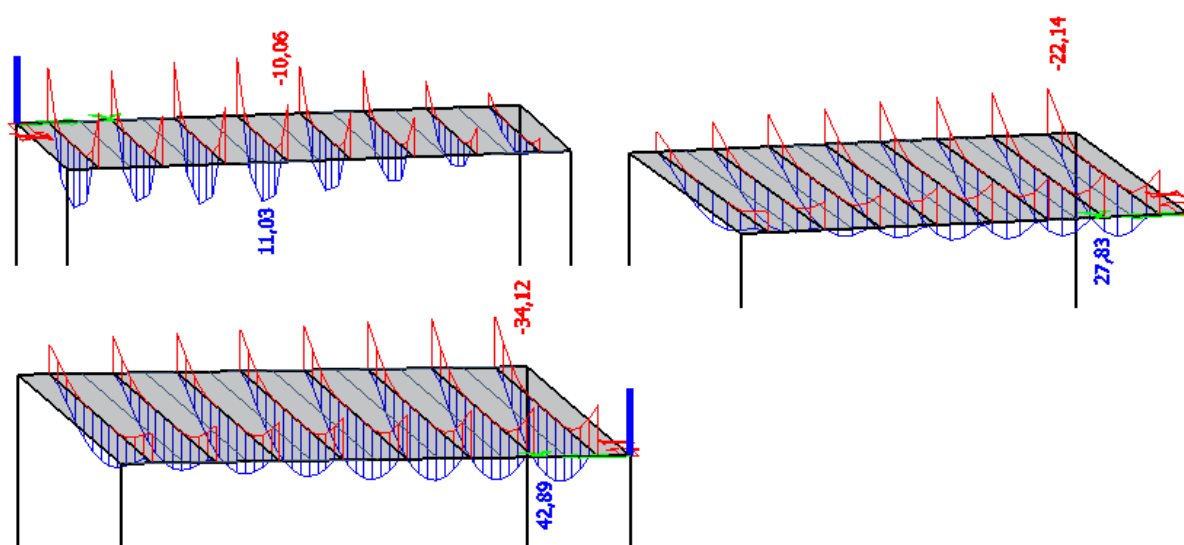
Zatížitelnost - 3NP			
rozpětí [m]	6	10	15
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	70,38	121,81	242,30
$\delta \cdot f$ [kNm]	5,28	21,46	46,99
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	24,10	57,72	88,46
$V_N$	2,396	1,538	1,789
$V_a$	239,58	153,85	178,88
$V_{nv}$	319,44	205,13	238,51
$V_n$ [t]	<b>31,9</b>	<b>20,5</b>	<b>23,9</b>

## 5.5 Rámové mosty

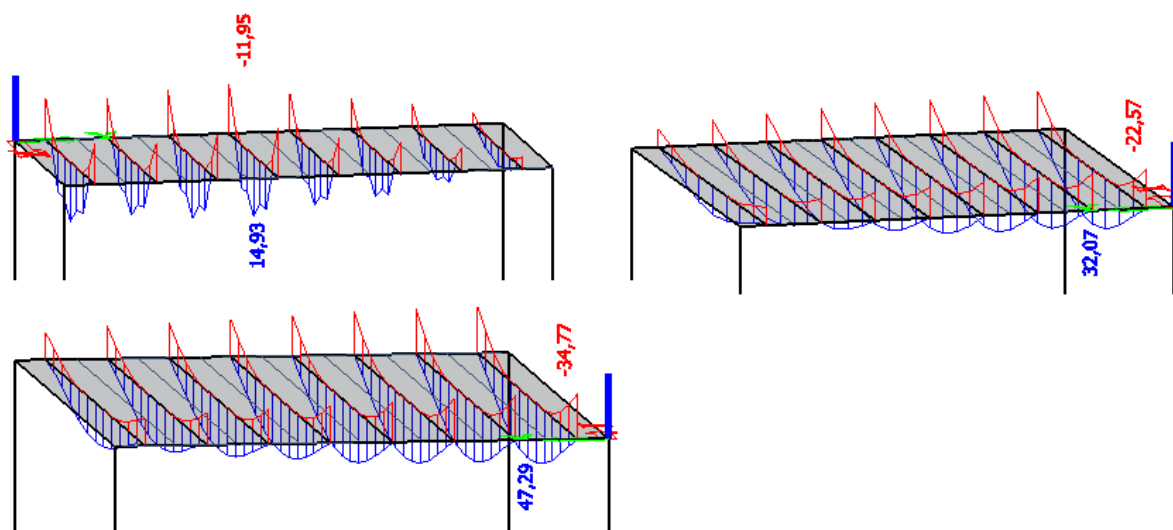
Pohyblivé zatížení na rámové mosty je řešeno na stejném 3D modelu jako při samotném návrhu mostů. Zatěžovací schéma je shodné s deskovými mosty.

Obálky od pohyblivých zatížení:

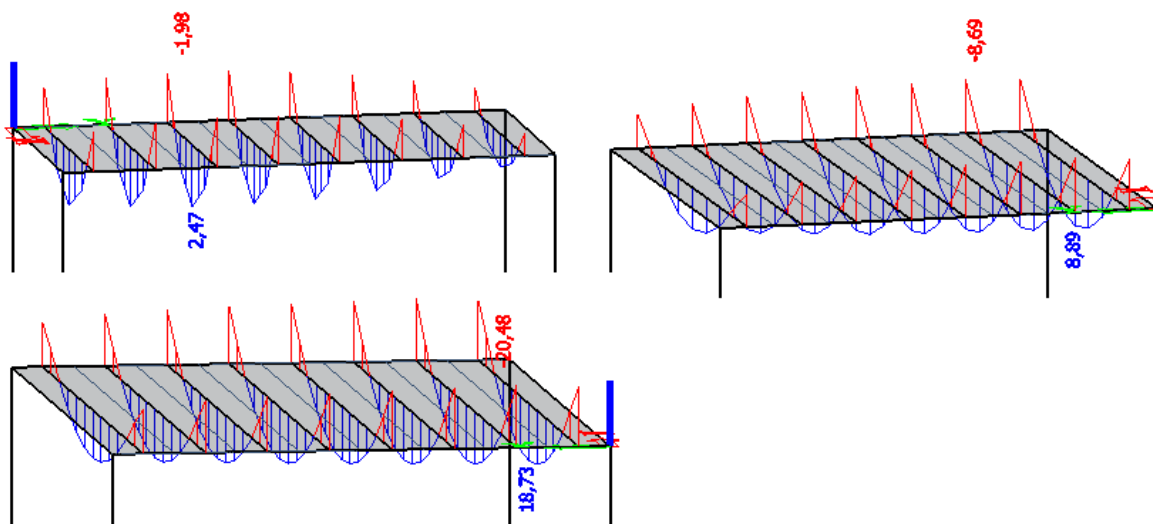
a) 3NV:



b) 2NV:



3) Spojité zatížení



Zatížitelnost v poli:

Normální zatížitelnost rámových mostů - v poli			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta$	1,20	1,20	1,20
rovnoměrné zatížení [kNm]	2,47	8,89	18,73
třínápravové vozidlo [kNm]	11,03	27,83	42,89
dvounápravové vozidlo [kNm]	14,93	32,07	47,29
$\delta * f$ [kNm]	2,96	10,67	22,48
$\delta * 3NP$ [kNm]	13,24	33,40	51,47
$\delta * 2NP$ [kNm]	17,92	38,48	56,75

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. A			
rozpětí [m]	4	8	12
MRd [kNm]	68,84	159,22	313,19
Mg [kNm]	8,29	45,79	129,54
$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\psi_{01}$	0,75	0,75	0,75
$\gamma_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qa}$ [kNm]	56,93	96,20	136,60

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. B			
rozpětí [m]	4	8	12
MRd [kNm]	68,84	159,22	313,19
Mg [kNm]	8,29	45,79	129,54
$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\xi$	0,85	0,85	0,85
$\gamma_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qb}$ [kNm]	<b>43,94</b>	<b>79,02</b>	<b>121,88</b>

Zatížitelnost - 2NP			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	43,94	79,02	121,88
$\delta \cdot f$ [kNm]	2,96	10,67	22,48
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	17,92	38,48	56,75
$V_N$	2,105	1,608	1,538
$V_a$	210,45	160,76	153,84
$V_{nv}$	280,60	214,35	205,13
$V_n$ [t]	28	21	21

Zatížitelnost - 3NP			
rozpětí [m]	6	10	15
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	43,94	79,02	121,88
$\delta \cdot f$ [kNm]	2,96	10,67	22,48
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	13,24	33,40	51,47
$V_N$	2,712	1,793	1,648
$V_a$	271,25	179,33	164,83
$V_{nv}$	361,67	239,10	219,77
$V_n$ [t]	<b>36,2</b>	<b>23,9</b>	<b>22,0</b>



## Zatížitelnost v rohu

Normální zatížitelnost rámových mostů - v rohu			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta$	1,20	1,20	1,20
rovnoměrné zatížení [kNm]	-1,98	-8,69	-19,64
třínápravové vozidlo [kNm]	-10,06	-22,14	-34,12
dvounápravové vozidlo [kNm]	-11,95	-22,57	-34,77
$\delta \cdot f$ [kNm]	-2,38	-10,43	-23,57
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	-12,07	-26,57	-40,94
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	-14,34	-27,08	-41,72

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. A			
rozpětí [m]	4	8	12
MRd [kNm]	-75,25	-173,99	-358,24
Mg [kNm]	-8,60	-44,10	-140,76
$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\psi_{01}$	0,75	0,75	0,75
$\gamma_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qa}$ [kNm]	-62,85	-113,05	-166,14

Moment zbývající na pohyblivé zatížení alt. B			
rozpětí [m]	4	8	12
MRd [kNm]	-75,25	-173,99	-358,24
Mg [kNm]	-8,60	-44,10	-140,76
$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,35	1,35
$\xi$	0,85	0,85	0,85
$\gamma_{Q1}$	1,35	1,35	1,35
$\delta \cdot M_{qb}$ [kNm]	<b>-48,43</b>	<b>-91,40</b>	<b>-145,72</b>

Zatížitelnost - 2NP			
rozpětí [m]	4	8	12
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	-48,43	-91,40	-145,72
$\delta \cdot f$ [kNm]	-2,38	-10,43	-23,57
$\delta \cdot 2NP$ [kNm]	-14,34	-27,08	-41,72
$V_N$	2,897	2,437	2,232
$V_a$	289,72	243,65	223,18
$V_{nv}$	386,29	324,87	297,57
$V_n$ [t]	39	32	30

Zatížitelnost - 3NP			
rozpětí [m]	6	10	15
$\delta \cdot M_q$ [kNm]	-62,85	-113,05	-166,14
$\delta \cdot f$ [kNm]	-2,38	-10,43	-23,57
$\delta \cdot 3NP$ [kNm]	-12,07	-26,57	-40,94
$V_N$	4,350	3,056	2,575
$V_a$	435,03	305,56	257,53
$V_{nv}$	580,04	407,41	343,38
<b><math>V_n</math> [t]</b>	<b>58,0</b>	<b>40,7</b>	<b>34,3</b>

Celková zatížitelnost:

Normální zatížitelnost rámových mostů			
V poli			
rozpětí [m]	6	10	15
Zatížitelnost [t]	36,2	23,9	22,0
V rohu			
Zatížitelnost [t]	58,0	40,7	34,3
Celková zatížitelnost			
<b>Zatížitelnost [t]</b>	<b>36,2</b>	<b>23,9</b>	<b>22,0</b>

## 6. Zesílení nabetonovanou deskou

Tloušťka nabetonované desky je zvolena 200 mm pro všechny typické mostní konstrukce. Ve výpočtu v polích nosníků se předpokládá, že v mezním stavu únosnosti dojde k drcení spřažené desky. Deformace průřezu před spřažením se v tomto případě zanedbává. Jak se ukáže v dalších způsobech zesílení, poměrná deformace tlačných vláken betonu od vlastní tíhy nepřesáhne ani -0,5‰. S vysokou pravděpodobností bude tlačná část průřezu ležet v nově nabetonované desce. Starý beton bude namáhán tahem, a tudíž nebude přenášet zatížení. V průřezích v poli se nebude uvažovat s tlačnou výztuží. Výztuž u povrchu desky by byla navržena pouze kvůli konstrukčním zásadám či smršťování.

V průřezích nad podporou bude spřažená deska tažena. Z toho důvodu bude navržena do desky ocelová výztuž B500B. Protože se výztuž nachází také u horního povrchu starého betonu, bude třeba ověřit, zda je nová i stará výztuž na mezi kluzu.

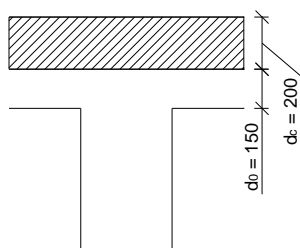
Spřažení desky nebude v této práci vyhodnoceno. Použitý postup výpočtu zesílení uvažuje s plným spřažením. Návrh spřažení by neměl vliv na momentovou únosnost, a proto nebude počítán. Posledním ulehčením pro urychlení výpočtu bude zanedbání vnitřních sil od smrštění desky. Při přesnějším vyhodnocení by smrštění táhlo spodní vlákna, čímž by se snížila únosnost.

Beton nabetonované desky bude navržen C25/30. Plochy staré výztuže C37 vychází z návrhu typických mostů.

## 6.1 Trámové mosty – prostý nosník

Výpočet únosnosti bude proveden na základě rovnosti vnitřních sil v průřezu. Efektivní šířka je shodná s šířkou, zjištěnou při přepočtu únosnosti dle ČSN EN 1992. Výpočet bude uveden pro trémový most o rozpětí 6 m.

Schéma:



Materiály:

- a) Nový beton C25/30
- b) Původní beton C23/28
- c) Původní výztuž C37

$$f_{cd,n} = f_{ck,n} / \gamma_c = 25 / 1,5 = 16,7 \text{ MPa}$$

$$f_{cd,p} = f_{ck,p} / \gamma_c = 23 / 1,5 = 15,3 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 180 \text{ MPa}$$

$$d_c = 200 \text{ mm}$$

$$d_0 = 150 \text{ mm}$$

$$h_T = 400 \text{ mm}$$

Celková výška průřezu

$$h = d_c + d_0 + h_T = 200 + 150 + 400 = 750 \text{ mm}$$

Plocha výztuže

$$A_{s,prov} = 4825 \text{ mm}^2$$

Únosnost – předpoklad, že neutrálná osa leží v nové desce

$$b_{\text{eff}} = 1600 \text{ mm}$$

$$d = d_{\text{čSN}} + d_c = 462 + 200 = 662 \text{ mm}$$

$$x = (A_{s,\text{prov}} * f_{yd}) / (0,8 * b_{\text{eff}} * f_{cd,n}) = (4825 * 180) / (0,8 * 1600 * 16,7) = 40,7 \text{ mm}$$

$$x < 200 \text{ mm} - \text{předpoklad splněn}$$

$$z = d - 0,4 x = 662 - 0,4 * 40,7 = 645,7 \text{ mm}$$

$$M_{\text{Rd}} = A_{s,\text{prov}} * z * f_{yd} = 4825 * 645,7 * 180 * 10^{-6} = 560,8 \text{ kNm}$$

Výpočet pro ostatní typické trémové mosty je uveden v tabulce:

Nabetonovaná deska				
rozpětí [m]	6	10	15	20
tl. nabetonávky	200	200	200	200
celková tloušťka desky [mm] (s nabetonávkou)	350	350	350	350
$h_T$ [mm]	400	550	950	1350
$h$ [mm]	750	900	1300	1700
$f_{ck,n}$ [MPa]	25	25	25	25
$f_{ck,p}$ [MPa]	23	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5	1,5
$f_{cd,n}$ [MPa]	16,67	16,67	16,67	16,67
$f_{cd,p}$ [MPa]	15,33	15,33	15,33	15,33
$f_{yd,p}$ [MPa]	180	180	180	180
$A_{s,\text{prov}}$ [mm <sup>2</sup> ]	4825	6434	9651	12064
$b_{\text{eff}}$ [mm]	1600	1600	1600	1600
$d$ [mm]	662	809	1174	1574
$x$ [mm]	40,7	54,3	81,4	101,8
$z$ [mm]	645,7	787,3	1141,4	1533,3
$M_{\text{Rd}}$ [kNm]	560,86	911,77	1982,86	3329,48

V případě nabetonávky je nutné spočítat, jaký moment vyvodí vlastní tíha nové desky. Tento moment bude ovlivňovat budoucí zatížitelnost.

Trámy jsou prostě uloženy, moment uprostřed nosníku rozpětí 6 m:

$$f_b = \gamma_c * b * d_c = 25 * 1,6 * 0,2 = 8 \text{ kN/m}$$

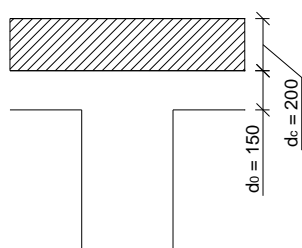
$$M_{g,b} = (1/8) * f_b * l_2 = (1/8) * 8 * 6_2 = 36,0 \text{ kNm}$$

Pro ostatní mosty:

Moment od zatížení tíhou nabetonávky				
rozpětí [m]	6	10	15	20
Mg,b [kNm]	36,00	100,00	225,00	400,00

## 6.2 Trámové mosty – spojitý nosník

Schéma:



### PRŮŘEZ V POLI

Výpočet únosnosti průřezu v poli je typově stejný jako u prostých trámů. Nebudu proto uvádět výpočet s dosazením.

Nabetonovaná deska - průřez v poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
tl. nabetonávky	200	200	200
celková tloušťka desky [mm] (s nabetonávkou)	350	350	350
$h_T$ [mm]	450	750	1150
$h$ [mm]	800	1100	1500
$f_{ck,n}$ [MPa]	25	25	25
$f_{ck,p}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd,n}$ [MPa]	16,7	16,7	16,7
$f_{cd,p}$ [MPa]	15,3	15,3	15,3
$f_{yd,p}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	6434	6434	8042
$b_{eff}$ [mm]	1600	1600	1600
$d$ [mm]	712	1009	1409
$x$ [mm]	54	54	68
$z$ [mm]	690	987	1382
$M_{Rd}$ [kNm]	799,43	1143,39	2000,44

## PRUŘEZ NAD PODPOROU

Jak je uvedeno výše v textu, nad podporou je třeba navrhnout výztuž a posoudit, zda je nová i stará výztuž na mezi kluzu. Materiálové charakteristiky jsou stejné jako v případě prostě uložených trémových mostů. Krytí nové výztuže je uvažováno 40 mm. Výpočet s dosazením pro trémový most rozpětí 10 + 10 m.

$$d_c = 200 \text{ mm}$$

$$d_o = 150 \text{ mm}$$

$$h_T = 450 \text{ mm}$$

**Celková výška průřezu**

$$h = d_c + d_o + h_T = 200 + 150 + 450 = 800 \text{ mm}$$

**Plocha původní výztuže C37 nad podporou**

$$A_{s,p} = 7238 \text{ mm}^2$$

**Vzdálenost původní výztuže od spodního povrchu**

$$d_p = 544 \text{ mm}$$

**Návrh výztuže v nové desce: 15Ø10/m (B500B)**

$$A_{s,n} = 1178 \text{ mm}^2$$

**Vzdálenost nové výztuže od spodního povrchu**

$$d_n = h - c - \varnothing/2 = 800 - 40 - 10/2 = 755 \text{ mm}$$

**Výpočet tlačené výšky za předpokladu, že jsou obě výztuže na mezi kluzu**

$$x = \frac{A_{s,p} \cdot f_{yd,p} + A_{s,n} \cdot f_{yd,n}}{0,8 \cdot b_T \cdot f_{cd,p}} = \frac{7238 \cdot 180 + 1178 \cdot \left(\frac{500}{1,15}\right)}{0,8 \cdot 350 \cdot 15,33} = 423 \text{ mm}$$

**Poměrná deformace původní výztuže**

$$\epsilon_p = \frac{\epsilon_c}{x} \cdot (d_p - x) = \frac{0,0035}{423} \cdot (544 - 423) = 1,0\text{‰}$$

**Poměrná deformace na mezi kluzu původní výztuže výztuže**

$$\epsilon_{y,p} = f_{yd,p} / E_p = 180 / 200000 = 0,9 \text{ ‰}$$

**$\epsilon_p > \epsilon_{y,p}$  původní výztuž je na mezi kluzu**

**Poměrná deformace nové výztuže**

$$\epsilon_n = \frac{\epsilon_c}{x} \cdot (d_n - x) = \frac{0,0035}{423} \cdot (755 - 423) = 2,8\text{‰}$$

**Poměrná deformace na mezi kluzu nové výztuže**

$$\epsilon_{y,n} = f_{yd,n} / E_n = 435 / 200000 = 2,2 \text{ ‰}$$

$\epsilon_n > \epsilon_{y,n}$  nová výztuž je na mezi kluzu

Předpoklad byl splněn, obě výztuže jsou na mezi kluzu.

Ramena vnitřních sil:

$$z_p = d_p - 0,4 \cdot x = 544 - 0,4 \cdot 423 = 375 \text{ mm}$$

$$z_n = d_n - 0,4 \cdot x = 755 - 0,4 \cdot 423 = 586 \text{ mm}$$

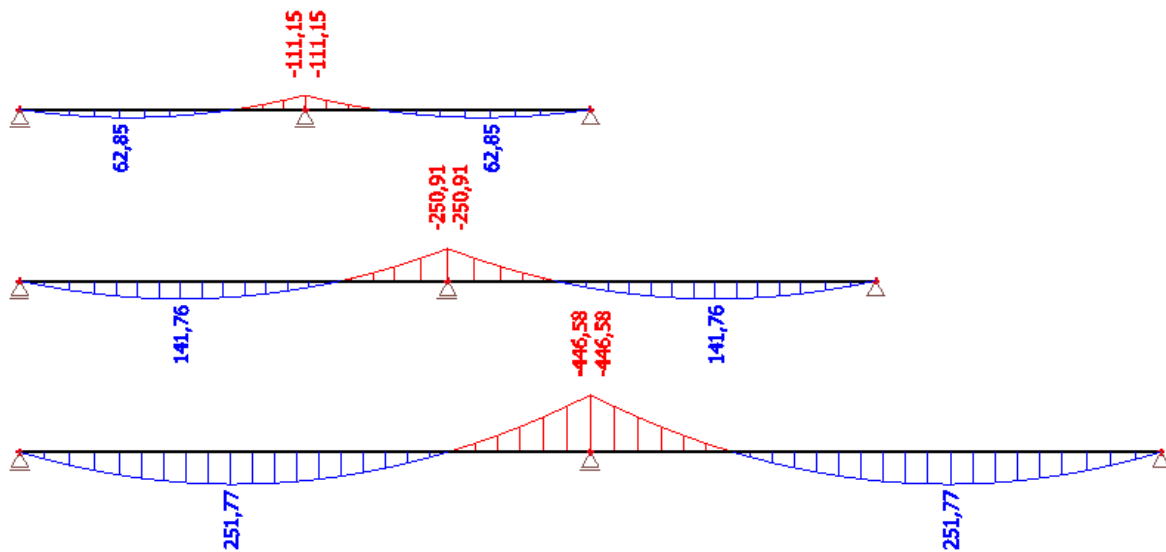
Moment únosnosti pak:

$$M_{Rd} = A_{s,p} \cdot f_{y,d,p} \cdot z_p + A_{s,n} \cdot f_{y,d,n} \cdot z_n = (7238 \cdot 180 \cdot 375 + 1178 \cdot 435 \cdot 586) \cdot 10^{-6} \\ = \mathbf{788,54 \text{ kNm}}$$

Zesílení nabetonovanou deskou pro ostatní průřezy nad podporou:

Nabetonovaná deska - průřez nad podporou			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
tl. nabetonávky	200	200	200
<b>Navržený počet výztuží v nabetonávce</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>15</b>
<b>Ø [mm]</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>20</b>
c [mm]	40	40	40
h <sub>T</sub> [mm]	450	750	1150
h [mm]	800	1100	1500
f <sub>ck,p</sub> [MPa]	23	23	23
γ <sub>c</sub> [-]	1,5	1,5	1,5
f <sub>cd,p</sub> [MPa]	15,3	15,3	15,3
f <sub>yd,p</sub> [MPa]	180	180	180
f <sub>yk,n</sub> [MPa]	500	500	500
γ <sub>s</sub> [-]	1,15	1,15	1,15
f <sub>yd,n</sub> [MPa]	435	435	435
A <sub>s,p</sub> [mm <sup>2</sup> ]	7238	9651	12064
A <sub>s,n</sub> [mm <sup>2</sup> ]	1178	2212	4712
d <sub>p</sub> [mm]	544	844	1244
d <sub>n</sub> [mm]	755	1052	1450
x [mm]	423	629	860
ε <sub>p</sub> [‰]	1,00	1,20	1,56
ε <sub>y,p</sub> [‰]	0,90	0,90	0,90
dosažena	Ano	Ano	Ano
ε <sub>n</sub> [‰]	2,8	2,4	2,4
ε <sub>y,n</sub> [‰]	2,2	2,2	2,2
dosažena	Ano	Ano	Ano
z <sub>p</sub> [mm]	375	593	900
z <sub>n</sub> [mm]	586	801	1106
M <sub>Rd</sub> [kNm]	788,54	1799,20	4220,16

Průběh momentů na spojitých trámech od zatížení betonovou deskou:



Shrnuto v tabulce:

Moment od zatížení tíhou nabetonávky - v poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
Mg,b [kNm]	62,85	141,76	251,77
Moment od zatížení tíhou nabetonávky - nad podporou			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
Mg,b [kNm]	-111,15	-250,91	-446,58

## 6.3 Deskové mosty

Postup výpočtu deskových mostů je shodný s výpočtem únosnosti u prostých trémových mostů. Výpočet je uveden tabulkovou formou



Nabetonovaná deska			
rozpětí [m]	4	8	12
tl. nabetonávky	200	200	200
celková tloušťka desky [mm] (s nabetonávkou)	500	650	900
$f_{ck,n}$ [MPa]	25	25	25
$f_{ck,p}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd,n}$ [MPa]	16,67	16,67	16,67
$f_{cd,p}$ [MPa]	15,33	15,33	15,33
$f_{yd,p}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2827	4398	6902
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$d$ [mm]	450	600	847
$x$ [mm]	38,2	59,4	93,2
$z$ [mm]	434,7	576,2	809,7
$M_{Rd}$ [kNm/m]	221,25	456,21	1005,99

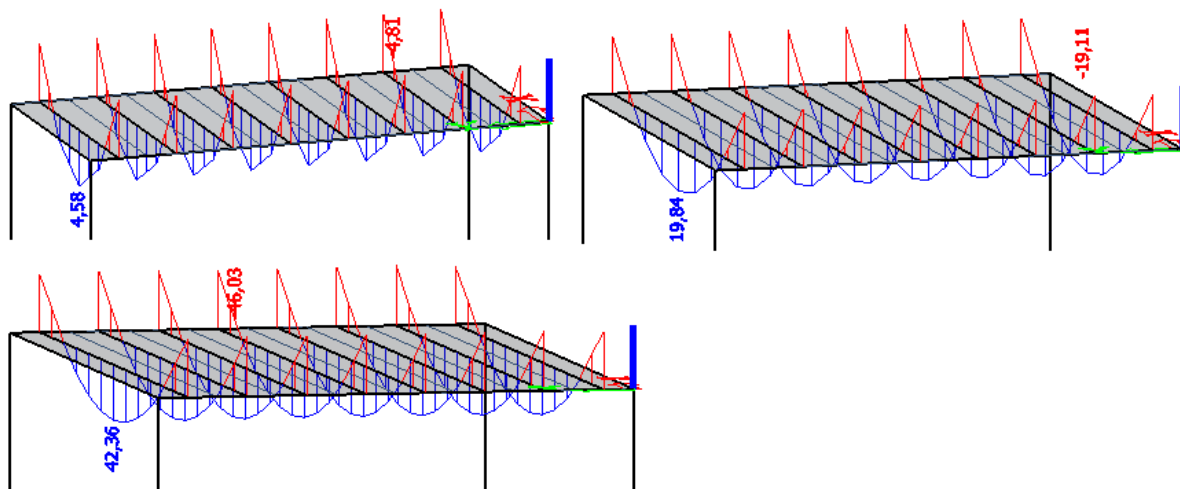
Moment od zatížení tíhou nabetonávky			
rozpětí [m]	4	8	12
$M_{g,b}$ [kNm/m]	10,00	40,00	90,00

## 6.4 Rámové mosty

Výpočet únosnosti v poli je shodný s deskovými mosty. Únosnost v rámovém rohu se nabetonovanou deskou nezvýší. Zvýšila by se sice únosnost horní desky, ale únosnost stěny rámu by zůstala stejná. Nemá proto smysl počítat zvýšení únosnosti v rohu konstrukce. Alternativou by bylo například rozříznutí konstrukce v místě pracovní spáry desky. Vložením ložisek na stěny by se změnilo statické schéma na prostý nosník. Ten by byl následně zesílen stejně jako tomu je u deskových mostů. Únosnost v poli s nabetonávkou je následující:

Nabetonovaná deska			
rozpětí [m]	4	8	12
tl. nabetonávky	150	150	150
celková tloušťka desky [mm] (s nabetonávkou)	400	500	650
$f_{ck,n}$ [MPa]	25	25	25
$f_{ck,p}$ [MPa]	23	23	23
$\gamma$ [-]	1,5	1,5	1,5
$f_{cd,n}$ [MPa]	16,67	16,67	16,67
$f_{cd,p}$ [MPa]	15,33	15,33	15,33
$f_{yd,p}$ [MPa]	180	180	180
$A_{s,prov}$ [mm <sup>2</sup> ]	2011	3142	4084
$b$ [mm]	1000	1000	1000
$d$ [mm]	352	450	600
$x$ [mm]	27,1	42,4	55,1
$z$ [mm]	341,1	433,0	577,9
$M_{Rd}$ [kNm]	123,46	244,88	424,87

Momenty od tíhy nabetonávky:

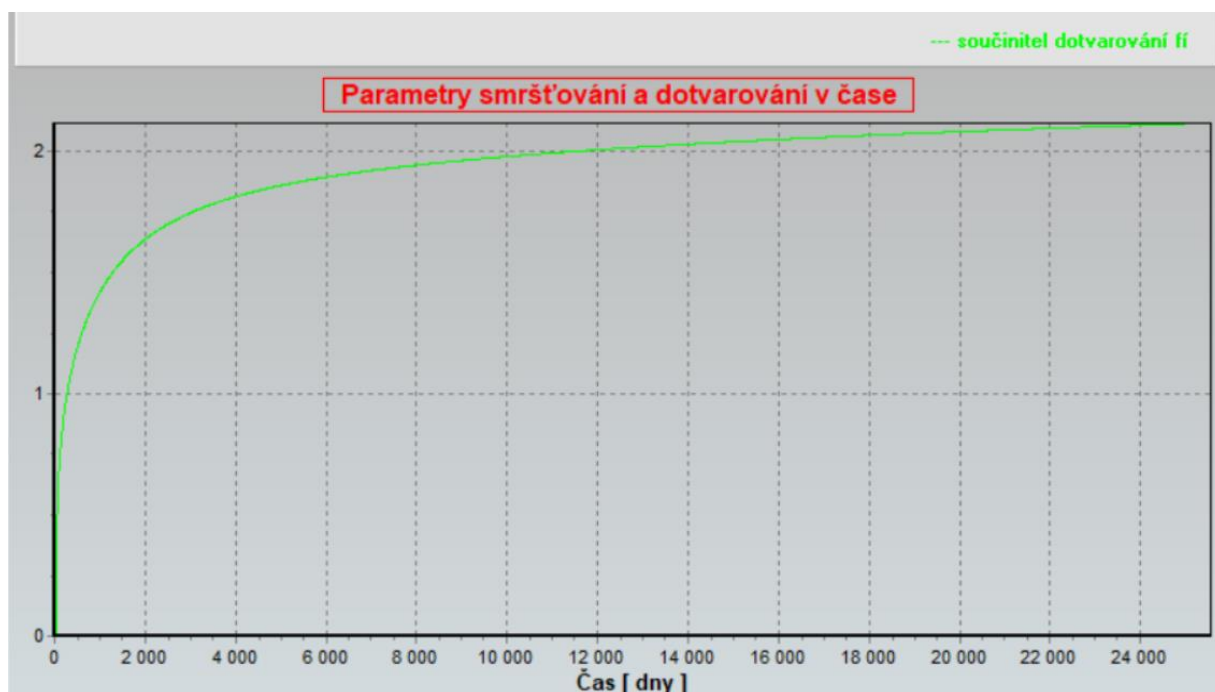


Moment v poli od zatížení tíhou nabetonávky			
rozpětí [m]	4	8	12
$M_{g,b}$ [kNm]	4,58	19,84	42,36

## 7. Zesílení lepenou FRP výztuží

Při zesilování konstrukcí externí výztuží je nutné znát, do jaké míry je zesilovaný prvek deformovaný, respektive jaké má rezervy do porušení. Od toho se odvíjí, jaké přetvoření je možné dostat do zesilujícího prvku. Deformace před

zesílením, nazvaná  $\epsilon_{in}$  bude uvažována pouze od stálých zatížení s uvažováním dlouhodobého modulu pružnosti betonu  $E_{dl}$ . Dlouhodobý modul pružnosti zahrnuje součinitel dotvarování, tudíž bere v potaz stáří konstrukce. Všechny mosty jsou navrženy dle ČSN z roku 1937. Stáří mostu je tedy přibližně 80 let.  $E_{dl}$  závisí na dotvarování konstrukce. Protože všechny typické mosty jsou podobně šířkově uspořádány, jsou ze stejných materiálů a stejného roku, bude uvažován společný součinitel dotvarování  $\varphi$ . Tento předpoklad byl ověřen programem Creep & Shrinkage Model B3. Při stejných zadaných podmínkách ošetřování, ale různých (i když podobných) příčných řezech, se součinitel dotvarování vždy blížil stejné hodnotě, a to  $\varphi = 2,1$ . Jeden z výstupních grafů je pro ukázkou zde:



Pro výpočet únosnosti se použije tzv. proužková metoda. Spočívá v rozdělení průřezu na proužky, ve kterých se vyhodnocují přetvoření, napětí a síly. Proužky jsou zahuštěny v místech tlačného betonu. Poloha neutrálné osy bude vyhodnocena iteračním procesem tak, aby byly síly v průřezu v rovnováze. FRP výztuž je v tabulkách označena béžovou barvou. Původní výztuž je označena barvou šedou. K mezní únosnosti může dojít třemi způsoby:

- 1) Drcení tlačného betonu
- 2) Nadměrná deformace výztuže
- 3) Dosažení maximálního napětí ve FRP výztuži (viz níže)

## 7.1 Materiálové charakteristiky

FRP výztuže nejsou úplnou novinkou na trhu. I přes to stále nejsou výpočty s nimi zakotveny v českých normách. Převezmou se tedy doporučení ze zahraničních zdrojů jako jsou *fib* no. 40 [16] a CAN/CSA-S806-12:2012 [17].

V teoretické části byly uvedeny důvody k použití výztuže s uhlíkovými vlákny (CFRP). Všechny zahraniční literatury doporučují omezit napětí v kompozitní výztuži. Jako návrhový přístup byl po konzultaci s prof. Petrem Štěpánkem, který se zabývá výzkumem FRP výztuží, zvolen jeden z nejnovějších, a to výše uvedený CAN/CSA-S806-12:2012, který doporučuje omezit napětí ve výztuži z uhlíkových vláken hodnotou  $0,65 \cdot f_{frpu}$ . Charakteristická pevnost v tahu byla převzata z předpisu *fib* Bulletin no. 40. Hodnoty jsou tedy následující:

$$f_k = 3500 \text{ MPa}$$

$$f_d = f_k / \gamma = 3500 / 1,25 = 2800 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\max} = 0,65 \cdot f_d = 0,65 \cdot 2800 = 1820 \text{ MPa}$$

$$E = 450 \text{ GPa}$$

$$\epsilon_{FRP,u} = \sigma_{\max} / E = 1820 / 450\,000 = 4,04 \text{ ‰}$$

Ostatní materiálové charakteristiky:

Beton C23/28		Výztuž C37	
$f_{cd}$ [MPa]	15,33	$f_{yd}$ [MPa]	180
$\epsilon_{c,pl}$ [‰]	-1,56	$\epsilon_y$ [‰]	0,9
$\epsilon_{c,u}$ [‰]	-3,5	$\epsilon_{s,u}$ [‰]	20
$E$ [MPa]	30500	$E$ [MPa]	200000
$\phi$ [-]	2,10		
$E_{dl}$ [MPa]	9839		

**PLOCHA CFRP VÝZTUŽE JE NAVŽENA JEDNOTNĚ  $A_{FRP} = 420 \text{ mm}^2$**

## 7.2 Trámové mosty – prostý nosník

Nejprve budou uvedeny vstupní parametry výpočtu pro všechny prosté trámové mosty. Následovat budou výpočty proužkovou metodou, nakonec bude shrnutí únosností.

Schéma polohy FRP výztuže:



### Vstupní parametry:

Zesílení externí lepenou výztuží – vstup pro výpočet prostých trémových mostů				
rozpětí [m]	6	10	15	20
Mg [kNm]	62,29	189,43	524,66	1192,10
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	9,00E+09	1,84E+10	6,76E+10	1,76E+11
h [mm]	550	700	1100	1500
ezh [mm]	-215	-231	-394	-594
σ <sub>h</sub> [MPa]	-1,49	-2,38	-3,06	-4,03
σ <sub>d</sub> [MPa]	2,32	4,83	5,48	6,14
A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ]	4825	6434	9651	12064

PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 6 m

Poloha neutrální osy od  
horních vláken [mm]

133,2

FC [kN]

-1632

FS [kN]

1632

MRd [kNm]

**747,7**

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-215	-0,151	-1,291	-1,442	-14,19	-113,5	0,0025	-0,28
	5	1600	-210	-0,148	-1,243	-1,390	-13,68	-109,4	0,0075	-0,82
	10	1600	-205	-0,144	-1,194	-1,338	-13,17	-105,3	0,0125	-1,32
	15	1600	-200	-0,141	-1,146	-1,286	-12,66	-101,3	0,0175	-1,77
	20	1600	-195	-0,137	-1,097	-1,234	-12,14	-97,2	0,0225	-2,19
	25	1600	-190	-0,134	-1,049	-1,182	-11,63	-93,1	0,0275	-2,56
	30	1600	-185	-0,130	-1,000	-1,130	-11,12	-89,0	0,0325	-2,89
	35	1600	-180	-0,127	-0,952	-1,078	-10,61	-84,9	0,0375	-3,18
	40	1600	-175	-0,123	-0,903	-1,026	-10,10	-80,8	0,0425	-3,43
	45	1600	-170	-0,120	-0,855	-0,974	-9,59	-76,7	0,0475	-3,64
	50	1600	-165	-0,116	-0,806	-0,923	-9,08	-72,6	0,0525	-3,81
	55	1600	-160	-0,113	-0,758	-0,871	-8,56	-68,5	0,0575	-3,94
	60	1600	-155	-0,109	-0,710	-0,819	-8,05	-64,4	0,0625	-4,03
	65	1600	-150	-0,106	-0,661	-0,767	-7,54	-60,3	0,0675	-4,07
	70	1600	-145	-0,102	-0,613	-0,715	-7,03	-56,2	0,0725	-4,08
	75	1600	-140	-0,098	-0,564	-0,663	-6,52	-52,2	0,0775	-4,04
	80	1600	-135	-0,095	-0,516	-0,611	-6,01	-48,1	0,0825	-3,97
	85	1600	-130	-0,091	-0,467	-0,559	-5,50	-44,0	0,0875	-3,85
	90	1600	-125	-0,088	-0,419	-0,507	-4,98	-39,9	0,0925	-3,69
	95	1600	-120	-0,084	-0,370	-0,455	-4,47	-35,8	0,0975	-3,49
	100	1600	-115	-0,081	-0,322	-0,403	-3,96	-31,7	0,1025	-3,25
	105	1600	-110	-0,077	-0,273	-0,351	-3,45	-27,6	0,1075	-2,97
	110	1600	-105	-0,074	-0,225	-0,299	-2,94	-23,5	0,1125	-2,65
	115	1600	-100	-0,070	-0,176	-0,247	-2,43	-19,4	0,1175	-2,28
	120	1600	-95	-0,067	-0,128	-0,195	-1,92	-15,3	0,1225	-1,88
	125	1600	-90	-0,063	-0,079	-0,143	-1,40	-11,2	0,1275	-1,43
	130	1600	-85	-0,060	-0,031	-0,091	-0,89	-7,1	0,1325	-0,95
	135	1600	-80	-0,056	0,017	-0,039	-0,38	-3,1	0,1375	-0,42
	140	1600	-75	-0,053	0,066	0,013	0,13	0,0	0	0,00
	145	1600	-70	-0,049	0,114	0,065	0,64	0,0	0	0
	150	1600	-65	-0,046	0,163	0,117	1,15	0,0	0	0
TRÁM	150	350	-65	-0,046	0,163	0,117	1,15	0,0	0	0
	450	350	235	0,165	3,071	3,236	31,84	0,0	0	0
	465	350	250	0,176	3,216	3,392	180,00	868,6	0,465	403,89
	475	350	260	0,183	3,313	3,496	34,40	0,0	0	0
	500	350	285	0,200	3,555	3,756	36,95	0,0	0	0
	525	350	310	0,218	3,798	4,016	39,51	0,0	0	0
	550	350	335	0,236	4,040	4,276	42,07	0,0	0	0
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,551	420,72

PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 10 m			Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]	123,42	FC [kN]		FS [kN]	MRd [kNm]		
					-1241		1241	1182,7		
DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1600	-231	-0,242	-0,865	-1,107	-10,89	-87,1	0,0025	-0,22
	5	1600	-226	-0,236	-0,830	-1,066	-10,49	-83,9	0,0075	-0,63
	10	1600	-221	-0,231	-0,795	-1,026	-10,09	-80,8	0,0125	-1,01
	15	1600	-216	-0,226	-0,760	-0,986	-9,70	-77,6	0,0175	-1,36
	20	1600	-211	-0,221	-0,725	-0,945	-9,30	-74,4	0,0225	-1,67
	25	1600	-206	-0,216	-0,690	-0,905	-8,91	-71,2	0,0275	-1,96
	30	1600	-201	-0,210	-0,655	-0,865	-8,51	-68,1	0,0325	-2,21
	35	1600	-196	-0,205	-0,620	-0,825	-8,11	-64,9	0,0375	-2,43
	40	1600	-191	-0,200	-0,585	-0,784	-7,72	-61,7	0,0425	-2,62
	45	1600	-186	-0,195	-0,549	-0,744	-7,32	-58,6	0,0475	-2,78
	50	1600	-181	-0,189	-0,514	-0,704	-6,92	-55,4	0,0525	-2,91
	55	1600	-176	-0,184	-0,479	-0,664	-6,53	-52,2	0,0575	-3,00
	60	1600	-171	-0,179	-0,444	-0,623	-6,13	-49,1	0,0625	-3,07
	65	1600	-166	-0,174	-0,409	-0,583	-5,74	-45,9	0,0675	-3,10
	70	1600	-161	-0,168	-0,374	-0,543	-5,34	-42,7	0,0725	-3,10
	75	1600	-156	-0,163	-0,339	-0,503	-4,94	-39,6	0,0775	-3,07
	80	1600	-151	-0,158	-0,304	-0,462	-4,55	-36,4	0,0825	-3,00
	85	1600	-146	-0,153	-0,269	-0,422	-4,15	-33,2	0,0875	-2,91
	90	1600	-141	-0,148	-0,234	-0,382	-3,76	-30,0	0,0925	-2,78
	95	1600	-136	-0,142	-0,199	-0,341	-3,36	-26,9	0,0975	-2,62
	100	1600	-131	-0,137	-0,164	-0,301	-2,96	-23,7	0,1025	-2,43
	105	1600	-126	-0,132	-0,129	-0,261	-2,57	-20,5	0,1075	-2,21
	110	1600	-121	-0,127	-0,094	-0,221	-2,17	-17,4	0,1125	-1,95
	115	1600	-116	-0,121	-0,059	-0,180	-1,77	-14,2	0,1175	-1,67
	120	1600	-111	-0,116	-0,024	-0,140	-1,38	-11,0	0,1225	-1,35
	125	1600	-106	-0,111	0,011	-0,100	-0,98	-7,9	0,1275	-1,00
	130	1600	-101	-0,106	0,046	-0,060	-0,59	-4,7	0,1325	-0,62
	135	1600	-96	-0,100	0,081	-0,019	-0,19	-1,5	0,1375	-0,21
	140	1600	-91	-0,095	0,116	0,021	0,21	0,0	0	0,00
	145	1600	-86	-0,090	0,151	0,061	0,60	0,0	0	0
	150	1600	-81	-0,085	0,186	0,101	1,00	0,0	0	0
TRÁM	150	350	-81	-0,085	0,186	0,101	1,00	0,0	0	0
	600	350	369	0,386	3,339	3,725	36,65	0,0	0	0
	609	350	378	0,396	3,402	3,798	180,00	1158,1	0,609	705,3
	625	350	394	0,412	3,514	3,927	38,63	0,0	0	0
	700	350	469	0,491	4,040	4,531	44,58	0,0	0	0
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,701	535,26

PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 15 m						FC [kN]		FS [kN]		MRd [kNm]
						-2501		2501		2352,3
DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1600	-394	-0,311	-1,082	-1,392	-13,70	-109,6	0,0025	-0,27
	5	1600	-389	-0,307	-1,058	-1,365	-13,43	-107,5	0,0075	-0,81
	10	1600	-384	-0,303	-1,035	-1,338	-13,16	-105,3	0,0125	-1,32
	15	1600	-379	-0,299	-1,012	-1,311	-12,90	-103,2	0,0175	-1,81
	20	1600	-374	-0,295	-0,988	-1,283	-12,63	-101,0	0,0225	-2,27
	25	1600	-369	-0,291	-0,965	-1,256	-12,36	-98,9	0,0275	-2,72
	30	1600	-364	-0,287	-0,942	-1,229	-12,09	-96,7	0,0325	-3,14
	35	1600	-359	-0,283	-0,919	-1,202	-11,82	-94,6	0,0375	-3,55
	40	1600	-354	-0,279	-0,895	-1,175	-11,56	-92,5	0,0425	-3,93
	45	1600	-349	-0,275	-0,872	-1,147	-11,29	-90,3	0,0475	-4,29
	50	1600	-344	-0,271	-0,849	-1,120	-11,02	-88,2	0,0525	-4,63
	55	1600	-339	-0,267	-0,826	-1,093	-10,75	-86,0	0,0575	-4,95
	60	1600	-334	-0,263	-0,802	-1,066	-10,49	-83,9	0,0625	-5,24
	65	1600	-329	-0,260	-0,779	-1,038	-10,22	-81,7	0,0675	-5,52
	70	1600	-324	-0,256	-0,756	-1,011	-9,95	-79,6	0,0725	-5,77
	75	1600	-319	-0,252	-0,732	-0,984	-9,68	-77,5	0,0775	-6,00
	80	1600	-314	-0,248	-0,709	-0,957	-9,41	-75,3	0,0825	-6,21
	85	1600	-309	-0,244	-0,686	-0,930	-9,15	-73,2	0,0875	-6,40
	90	1600	-304	-0,240	-0,663	-0,902	-8,88	-71,0	0,0925	-6,57
	95	1600	-299	-0,236	-0,639	-0,875	-8,61	-68,9	0,0975	-6,72
	100	1600	-294	-0,232	-0,616	-0,848	-8,34	-66,7	0,1025	-6,84
	105	1600	-289	-0,228	-0,593	-0,821	-8,07	-64,6	0,1075	-6,94
	110	1600	-284	-0,224	-0,569	-0,793	-7,81	-62,5	0,1125	-7,03
	115	1600	-279	-0,220	-0,546	-0,766	-7,54	-60,3	0,1175	-7,09
	120	1600	-274	-0,216	-0,523	-0,739	-7,27	-58,2	0,1225	-7,13
	125	1600	-269	-0,212	-0,500	-0,712	-7,00	-56,0	0,1275	-7,14
	130	1600	-264	-0,208	-0,476	-0,685	-6,74	-53,9	0,1325	-7,14
	135	1600	-259	-0,204	-0,453	-0,657	-6,47	-51,7	0,1375	-7,11
	140	1600	-254	-0,200	-0,430	-0,630	-6,20	-49,6	0,1425	-7,07
	145	1600	-249	-0,196	-0,406	-0,603	-5,93	-47,5	0,1475	-7,00
	150	1600	-244	-0,192	-0,383	-0,576	-5,66	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-244	-0,192	-0,383	-0,576	-5,66	-99,1	0,175	-17,35
	200	350	-194	-0,153	-0,150	-0,303	-2,99	-26,1	0,2125	-5,55
	225	350	-169	-0,133	-0,034	-0,167	-1,65	-14,4	0,2375	-3,42
	250	350	-144	-0,114	0,082	-0,031	-0,31	-5,4	0,275	-1,48
	300	350	-94	-0,074	0,315	0,241	2,37	0,0	0	0,00
	950	350	556	0,439	3,342	3,780	37,19	0,0	0	0,00
	974	350	580	0,458	3,453	3,911	180,00	1737,2	0,974	1692,01
	1100	350	706	0,557	4,040	4,597	45,23	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	1,101	840,68



PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 20 m						Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]	390,6	FC [kN]	FS [kN]	MRd [kNm]
								-4130	4130	3713,2
DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	ε <sub>in</sub> [‰]	Δε [‰]	ε [‰]	σ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1600	-594	-0,409	-1,422	-1,832	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
	5	1600	-589	-0,406	-1,404	-1,810	-15,33	-1104,0	0,0275	-30,36
	50	1600	-544	-0,375	-1,240	-1,615	-15,33	-122,7	0,0525	-6,44
	55	1600	-539	-0,371	-1,222	-1,593	-15,33	-122,7	0,0575	-7,05
	60	1600	-534	-0,368	-1,204	-1,572	-15,33	-122,7	0,0625	-7,67
	65	1600	-529	-0,364	-1,186	-1,550	-15,25	-122,0	0,0675	-8,24
	70	1600	-524	-0,361	-1,167	-1,528	-15,04	-120,3	0,0725	-8,72
	75	1600	-519	-0,358	-1,149	-1,507	-14,82	-118,6	0,0775	-9,19
	80	1600	-514	-0,354	-1,131	-1,485	-14,61	-116,9	0,0825	-9,64
	85	1600	-509	-0,351	-1,113	-1,463	-14,40	-115,2	0,0875	-10,08
	90	1600	-504	-0,347	-1,095	-1,442	-14,19	-113,5	0,0925	-10,50
	95	1600	-499	-0,344	-1,076	-1,420	-13,97	-111,8	0,0975	-10,90
	100	1600	-494	-0,340	-1,058	-1,399	-13,76	-110,1	0,1025	-11,28
	105	1600	-489	-0,337	-1,040	-1,377	-13,55	-108,4	0,1075	-11,65
	110	1600	-484	-0,333	-1,022	-1,355	-13,33	-106,7	0,1125	-12,00
	115	1600	-479	-0,330	-1,004	-1,334	-13,12	-105,0	0,1175	-12,33
	120	1600	-474	-0,327	-0,985	-1,312	-12,91	-103,3	0,1225	-12,65
	125	1600	-469	-0,323	-0,967	-1,290	-12,69	-101,6	0,1275	-12,95
	130	1600	-464	-0,320	-0,949	-1,269	-12,48	-99,9	0,1325	-13,23
	135	1600	-459	-0,316	-0,931	-1,247	-12,27	-98,1	0,1375	-13,50
	140	1600	-454	-0,313	-0,913	-1,225	-12,06	-96,4	0,1425	-13,74
	145	1600	-449	-0,309	-0,894	-1,204	-11,84	-94,7	0,1475	-13,97
	150	1600	-444	-0,306	-0,876	-1,182	-11,63	0,0	0	0,00
TRÁM	150	400	-444	-0,306	-0,876	-1,182	-11,63	-116,3	0,1625	-18,90
	175	400	-419	-0,289	-0,785	-1,074	-10,56	-105,6	0,1875	-19,81
	200	400	-394	-0,271	-0,694	-0,965	-9,50	-95,0	0,2125	-20,19
	225	400	-369	-0,254	-0,603	-0,857	-8,43	-84,3	0,2375	-20,03
	250	400	-344	-0,237	-0,512	-0,749	-7,37	-73,7	0,2625	-19,34
	275	400	-319	-0,220	-0,421	-0,641	-6,30	-63,0	0,2875	-18,12
	300	400	-294	-0,203	-0,330	-0,532	-5,24	-52,4	0,3125	-16,37
	325	400	-269	-0,185	-0,239	-0,424	-4,17	-41,7	0,3375	-14,09
	350	400	-244	-0,168	-0,148	-0,316	-3,11	-31,1	0,3625	-11,27
	375	400	-219	-0,151	-0,057	-0,208	-2,04	-20,4	0,3875	-7,92
	400	400	-194	-0,134	0,034	-0,099	-0,98	-9,8	0,4125	-4,03
	425	400	-169	-0,116	0,125	0,009	0,09	0,0	0	0,00
	1350	400	756	0,521	3,494	4,015	39,50	0,0	0	0,00
	1374	400	780	0,537	3,581	4,118	180,00	2171,5	1,374	2983,60
	1375	400	781	0,538	3,585	4,123	40,56	0,0	0	0,00
1500	400	906	0,624	4,040	4,664	45,89	0,0	0	0,00	
FRP						4,040	1818,00	763,6	1,501	1146,10

Shrnutí výsledků : zesílení externí lepenou výztuží - prosté trámy				
rozpětí [m]	6	10	15	20
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	<b>747,7</b>	<b>1182,7</b>	<b>2352,3</b>	<b>3713,2</b>

### 7.3 Trámové mosty – spojitý nosník

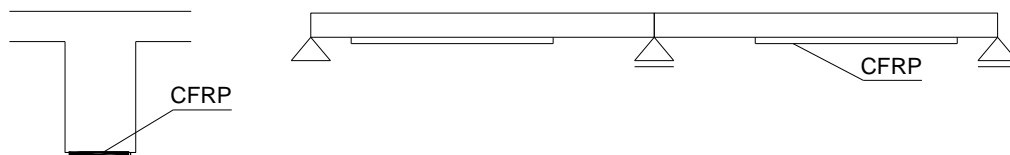
Zesílení externí lepenou výztuží je uvažováno pouze v poli spojitého nosníku. Technologicky by bylo zřejmě možné výztuž vlepít na horní povrch nosné konstrukce, což by ovšem vyžadovalo velké zásahy do stavby a výztuž by bylo nutné ochránit. FRP výztuž by byla svírána tíhou vozovky a zatížením dopravy. Protože má v tomto směru zanedbatelnou pevnost, nebylo by zřejmě bezpečné navrhovat zesílení i nad podporou.

Nejprve budou uvedeny vstupní parametry výpočtu pro všechny spojitě trámové mosty. Následovat budou výpočty proužkovou metodou, nakonec bude shrnutí únosností.

Vstupní parametry:

Zesílení externí lepenou výztuží – vstup pro výpočet spojitých trámových mostů			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
M <sub>g</sub> [kNm]	100,75	266,68	614,47
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	1,17E+10	3,81E+10	1,18E+11
h [mm]	600	900	1300
ezh [mm]	-194	-310	-502
σ <sub>n</sub> [MPa]	-1,67	-2,17	-2,62
σ <sub>d</sub> [MPa]	3,50	4,13	4,16
A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ]	6434	6434	8042

Schéma polohy FRP výztuže:



SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 10 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]	151,0
------------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-1922	1922

MRd [kNm]
947,6

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-194	-0,170	-1,358	-1,528	-15,03	-120,3	0,0025	-0,30
	5	1600	-189	-0,165	-1,313	-1,478	-14,55	-116,4	0,0075	-0,87
	10	1600	-184	-0,161	-1,268	-1,429	-14,06	-112,5	0,0125	-1,41
	15	1600	-179	-0,157	-1,223	-1,380	-13,58	-108,6	0,0175	-1,90
	20	1600	-174	-0,152	-1,178	-1,330	-13,09	-104,7	0,0225	-2,36
	25	1600	-169	-0,148	-1,133	-1,281	-12,60	-100,8	0,0275	-2,77
	30	1600	-164	-0,144	-1,088	-1,232	-12,12	-96,9	0,0325	-3,15
	35	1600	-159	-0,139	-1,043	-1,182	-11,63	-93,1	0,0375	-3,49
	40	1600	-154	-0,135	-0,998	-1,133	-11,15	-89,2	0,0425	-3,79
	45	1600	-149	-0,130	-0,953	-1,084	-10,66	-85,3	0,0475	-4,05
	50	1600	-144	-0,126	-0,908	-1,034	-10,18	-81,4	0,0525	-4,27
	55	1600	-139	-0,122	-0,863	-0,985	-9,69	-77,5	0,0575	-4,46
	60	1600	-134	-0,117	-0,818	-0,936	-9,20	-73,6	0,0625	-4,60
	65	1600	-129	-0,113	-0,773	-0,886	-8,72	-69,8	0,0675	-4,71
	70	1600	-124	-0,109	-0,728	-0,837	-8,23	-65,9	0,0725	-4,78
	75	1600	-119	-0,104	-0,683	-0,787	-7,75	-62,0	0,0775	-4,80
	80	1600	-114	-0,100	-0,638	-0,738	-7,26	-58,1	0,0825	-4,79
	85	1600	-109	-0,095	-0,593	-0,689	-6,78	-54,2	0,0875	-4,74
	90	1600	-104	-0,091	-0,548	-0,639	-6,29	-50,3	0,0925	-4,66
	95	1600	-99	-0,087	-0,503	-0,590	-5,81	-46,4	0,0975	-4,53
	100	1600	-94	-0,082	-0,458	-0,541	-5,32	-42,6	0,1025	-4,36
	105	1600	-89	-0,078	-0,413	-0,491	-4,83	-38,7	0,1075	-4,16
	110	1600	-84	-0,074	-0,368	-0,442	-4,35	-34,8	0,1125	-3,91
	115	1600	-79	-0,069	-0,323	-0,393	-3,86	-30,9	0,1175	-3,63
	120	1600	-74	-0,065	-0,278	-0,343	-3,38	-27,0	0,1225	-3,31
	125	1600	-69	-0,060	-0,233	-0,294	-2,89	-23,1	0,1275	-2,95
	130	1600	-64	-0,056	-0,188	-0,244	-2,41	-19,2	0,1325	-2,55
	135	1600	-59	-0,052	-0,143	-0,195	-1,92	-15,4	0,1375	-2,11
	140	1600	-54	-0,047	-0,099	-0,146	-1,43	-11,5	0,1425	-1,64
	145	1600	-49	-0,043	-0,054	-0,096	-0,95	-7,6	0,1475	-1,12
	150	1600	-44	-0,039	-0,009	-0,047	-0,46	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-44	-0,039	-0,009	-0,047	-0,46	-4,1	0,1625	-0,66
	175	350	-19	-0,017	0,216	0,200	1,97	0,0	0	0,00
	500	350	306	0,268	3,140	3,408	33,53	0,0	0	0,00
	509	350	315	0,276	3,221	3,497	180,00	1158,1	0,509	589,48
	525	350	331	0,290	3,365	3,655	35,96	0,0	0	0,00
	600	350	406	0,355	4,040	4,395	43,24	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,601	458,90

SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 15 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]	183,9
------------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-1922	1922

MRd [kNm]
1505,1

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-310	-0,221	-1,038	-1,258	-12,38	-99,0	0,0025	-0,25
	5	1600	-305	-0,217	-1,009	-1,226	-12,06	-96,5	0,0075	-0,72
	10	1600	-300	-0,213	-0,981	-1,195	-11,75	-94,0	0,0125	-1,18
	15	1600	-295	-0,210	-0,953	-1,163	-11,44	-91,5	0,0175	-1,60
	20	1600	-290	-0,206	-0,925	-1,131	-11,13	-89,0	0,0225	-2,00
	25	1600	-285	-0,203	-0,896	-1,099	-10,81	-86,5	0,0275	-2,38
	30	1600	-280	-0,199	-0,868	-1,067	-10,50	-84,0	0,0325	-2,73
	35	1600	-275	-0,196	-0,840	-1,036	-10,19	-81,5	0,0375	-3,06
	40	1600	-270	-0,192	-0,812	-1,004	-9,88	-79,0	0,0425	-3,36
	45	1600	-265	-0,189	-0,784	-0,972	-9,56	-76,5	0,0475	-3,63
	50	1600	-260	-0,185	-0,755	-0,940	-9,25	-74,0	0,0525	-3,89
	55	1600	-255	-0,181	-0,727	-0,909	-8,94	-71,5	0,0575	-4,11
	60	1600	-250	-0,178	-0,699	-0,877	-8,63	-69,0	0,0625	-4,31
	65	1600	-245	-0,174	-0,671	-0,845	-8,31	-66,5	0,0675	-4,49
	70	1600	-240	-0,171	-0,643	-0,813	-8,00	-64,0	0,0725	-4,64
	75	1600	-235	-0,167	-0,614	-0,782	-7,69	-61,5	0,0775	-4,77
	80	1600	-230	-0,164	-0,586	-0,750	-7,38	-59,0	0,0825	-4,87
	85	1600	-225	-0,160	-0,558	-0,718	-7,06	-56,5	0,0875	-4,95
	90	1600	-220	-0,157	-0,530	-0,686	-6,75	-54,0	0,0925	-5,00
	95	1600	-215	-0,153	-0,502	-0,655	-6,44	-51,5	0,0975	-5,02
	100	1600	-210	-0,149	-0,473	-0,623	-6,13	-49,0	0,1025	-5,02
	105	1600	-205	-0,146	-0,445	-0,591	-5,81	-46,5	0,1075	-5,00
	110	1600	-200	-0,142	-0,417	-0,559	-5,50	-44,0	0,1125	-4,95
	115	1600	-195	-0,139	-0,389	-0,527	-5,19	-41,5	0,1175	-4,88
	120	1600	-190	-0,135	-0,361	-0,496	-4,88	-39,0	0,1225	-4,78
	125	1600	-185	-0,132	-0,332	-0,464	-4,56	-36,5	0,1275	-4,66
	130	1600	-180	-0,128	-0,304	-0,432	-4,25	-34,0	0,1325	-4,51
	135	1600	-175	-0,124	-0,276	-0,400	-3,94	-31,5	0,1375	-4,33
	140	1600	-170	-0,121	-0,248	-0,369	-3,63	-29,0	0,1425	-4,13
	145	1600	-165	-0,117	-0,219	-0,337	-3,31	-26,5	0,1475	-3,91
	150	1600	-160	-0,114	-0,191	-0,305	-3,00	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-160	-0,114	-0,191	-0,305	-3,00	-26,3	0,1625	-4,27
	175	350	-135	-0,096	-0,050	-0,146	-1,44	-12,6	0,1875	-2,36
	200	350	-110	-0,078	0,091	0,013	0,12	0,0	0	0,00
	800	350	490	0,349	3,476	3,824	37,63	0,0	0	0,00
	809	350	499	0,355	3,527	3,882	180,00	1158,1	0,809	936,92
	825	350	515	0,366	3,617	3,983	39,19	0,0	0	0,00
	900	350	590	0,420	4,040	4,460	43,88	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,901	687,97

SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 20 m						Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]		241	FC [kN]	FS [kN]	MRd [kNm]
									-2211	2211	2578,2
DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	ε <sub>in</sub> [‰]	Δε [‰]	ε [‰]	σ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]	
	0	1600	-502	-0,266	-0,919	-1,186	-11,66	-93,3	0,0025	-0,23	
	5	1600	-497	-0,263	-0,900	-1,164	-11,45	-91,6	0,0075	-0,69	
	10	1600	-492	-0,261	-0,881	-1,142	-11,24	-89,9	0,0125	-1,12	
	15	1600	-487	-0,258	-0,862	-1,120	-11,02	-88,2	0,0175	-1,54	
	20	1600	-482	-0,256	-0,843	-1,099	-10,81	-86,5	0,0225	-1,95	
	25	1600	-477	-0,253	-0,824	-1,077	-10,60	-84,8	0,0275	-2,33	
	30	1600	-472	-0,250	-0,805	-1,055	-10,38	-83,1	0,0325	-2,70	
	35	1600	-467	-0,248	-0,786	-1,033	-10,17	-81,3	0,0375	-3,05	
	40	1600	-462	-0,245	-0,767	-1,012	-9,95	-79,6	0,0425	-3,38	
	45	1600	-457	-0,242	-0,748	-0,990	-9,74	-77,9	0,0475	-3,70	
	50	1600	-452	-0,240	-0,729	-0,968	-9,53	-76,2	0,0525	-4,00	
	55	1600	-447	-0,237	-0,710	-0,947	-9,31	-74,5	0,0575	-4,28	
	60	1600	-442	-0,234	-0,691	-0,925	-9,10	-72,8	0,0625	-4,55	
	65	1600	-437	-0,232	-0,671	-0,903	-8,89	-71,1	0,0675	-4,80	
	70	1600	-432	-0,229	-0,652	-0,881	-8,67	-69,4	0,0725	-5,03	
	75	1600	-427	-0,226	-0,633	-0,860	-8,46	-67,7	0,0775	-5,24	
	80	1600	-422	-0,224	-0,614	-0,838	-8,24	-66,0	0,0825	-5,44	
	85	1600	-417	-0,221	-0,595	-0,816	-8,03	-64,2	0,0875	-5,62	
	90	1600	-412	-0,218	-0,576	-0,794	-7,82	-62,5	0,0925	-5,78	
	95	1600	-407	-0,216	-0,557	-0,773	-7,60	-60,8	0,0975	-5,93	
	100	1600	-402	-0,213	-0,538	-0,751	-7,39	-59,1	0,1025	-6,06	
	105	1600	-397	-0,210	-0,519	-0,729	-7,18	-57,4	0,1075	-6,17	
	110	1600	-392	-0,208	-0,500	-0,708	-6,96	-55,7	0,1125	-6,27	
	115	1600	-387	-0,205	-0,481	-0,686	-6,75	-54,0	0,1175	-6,34	
	120	1600	-382	-0,203	-0,462	-0,664	-6,53	-52,3	0,1225	-6,40	
	125	1600	-377	-0,200	-0,443	-0,642	-6,32	-50,6	0,1275	-6,45	
	130	1600	-372	-0,197	-0,423	-0,621	-6,11	-48,9	0,1325	-6,47	
	135	1600	-367	-0,195	-0,404	-0,599	-5,89	-47,1	0,1375	-6,48	
	140	1600	-362	-0,192	-0,385	-0,577	-5,68	-45,4	0,1425	-6,47	
	145	1600	-357	-0,189	-0,366	-0,556	-5,47	-43,7	0,1475	-6,45	
	150	1600	-352	-0,187	-0,347	-0,534	-5,25	0,0	0	0,00	
TRÁM	150	400	-352	-0,187	-0,347	-0,534	-5,25	-52,5	0,1625	-8,53	
	175	400	-327	-0,173	-0,252	-0,425	-4,18	-41,8	0,1875	-7,84	
	200	400	-302	-0,160	-0,156	-0,317	-3,11	-31,1	0,2125	-6,62	
	225	400	-277	-0,147	-0,061	-0,208	-2,05	-20,5	0,2375	-4,86	
	250	400	-252	-0,134	0,034	-0,099	-0,98	-9,8	0,2625	-2,56	
	275	400	-227	-0,120	0,130	0,009	0,09	0,0	0	0,00	
	1200	400	698	0,370	3,659	4,029	39,64	0,0	0	0,00	
	1209	400	707	0,375	3,693	4,068	180,00	1447,6	1,209	1750,20	
	1225	400	723	0,383	3,754	4,137	40,70	0,0	0	0,00	
1300	400	798	0,423	4,040	4,463	43,91	0,0	0	0,00		
FRP					4,040	1818,00	763,6	1,301	993,39		

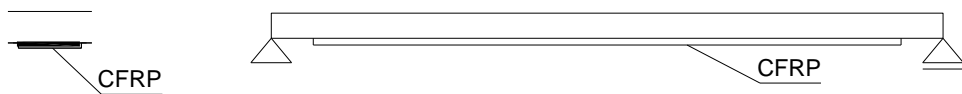
Shrnutí výsledků : zesílení externí lepenou výztuží - spojitá tráma			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	<b>947,6</b>	<b>1505,1</b>	<b>2578,2</b>

## 7.4 Deskové mosty

Vstupní parametry:

Zesílení externí lepenou výztuží – vstup pro výpočet deskových mostů			
rozpětí [m]	4	8	12
M <sub>g</sub> [kNm]	20,72	114,85	371,57
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	2,25E+09	7,59E+09	2,86E+10
h [mm]	300	450	700
ezh [mm]	-150	-225	-350
σ <sub>h</sub> [MPa]	-1,38	-3,40	-4,55
σ <sub>d</sub> [MPa]	1,38	3,40	4,55
A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ]	2827	4398	6902

Schéma FRP výztuže:



DESKOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 4 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]

113,5

FC [kN]

FS [kN]

-1273

1272

MRd [kNm]

301,2

DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1000	-150	-0,140	-2,459	-2,599	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-145	-0,136	-2,350	-2,486	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-140	-0,131	-2,242	-2,373	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-135	-0,126	-2,134	-2,260	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-130	-0,122	-2,025	-2,147	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-125	-0,117	-1,917	-2,034	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
	30	1000	-120	-0,112	-1,809	-1,921	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
	35	1000	-115	-0,108	-1,700	-1,808	-15,33	-76,7	0,0375	-2,88
	40	1000	-110	-0,103	-1,592	-1,695	-15,33	-76,7	0,0425	-3,26
	45	1000	-105	-0,098	-1,484	-1,582	-15,33	-76,7	0,0475	-3,64
	50	1000	-100	-0,094	-1,376	-1,469	-14,45	-72,3	0,0525	-3,79
	55	1000	-95	-0,089	-1,267	-1,356	-13,34	-66,7	0,0575	-3,84
	60	1000	-90	-0,084	-1,159	-1,243	-12,23	-61,2	0,0625	-3,82
	65	1000	-85	-0,080	-1,051	-1,130	-11,12	-55,6	0,0675	-3,75
	70	1000	-80	-0,075	-0,942	-1,017	-10,01	-50,0	0,0725	-3,63
	75	1000	-75	-0,070	-0,834	-0,904	-8,90	-44,5	0,0775	-3,45
	80	1000	-70	-0,066	-0,726	-0,791	-7,78	-38,9	0,0825	-3,21
	85	1000	-65	-0,061	-0,617	-0,678	-6,67	-33,4	0,0875	-2,92
	90	1000	-60	-0,056	-0,509	-0,565	-5,56	-27,8	0,0925	-2,57
	95	1000	-55	-0,051	-0,401	-0,452	-4,45	-22,2	0,0975	-2,17
	100	1000	-50	-0,047	-0,292	-0,339	-3,34	-16,7	0,1025	-1,71
	105	1000	-45	-0,042	-0,184	-0,226	-2,23	-11,1	0,1075	-1,20
	110	1000	-40	-0,037	-0,076	-0,113	-1,11	-5,6	0,1125	-0,63
	115	1000	-35	-0,033	0,032	0,000	0,00	0,0	0,1175	0,00
	120	1000	-30	-0,028	0,141	0,113	1,11	0,0	0	0,00
	225	1000	75	0,070	2,415	2,486	24,45	0,0	0	0,00
	250	1000	100	0,094	2,957	3,050	180,00	508,9	0,25	127,23
	275	1000	125	0,117	3,498	3,615	35,57	0,0	0	0,00
	300	1000	150	0,140	4,040	4,180	41,13	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,301	229,83

## DESKOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 8 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]

143,4

FC [kN]

-1556

FS [kN]

1555

MRd [kNm]

574,9

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1000	-225	-0,346	-1,890	-2,235	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-220	-0,338	-1,824	-2,162	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-215	-0,331	-1,758	-2,088	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-210	-0,323	-1,692	-2,015	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-205	-0,315	-1,626	-1,941	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-200	-0,307	-1,560	-1,868	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
	30	1000	-195	-0,300	-1,494	-1,794	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
	35	1000	-190	-0,292	-1,428	-1,720	-15,33	-76,7	0,0375	-2,88
	40	1000	-185	-0,284	-1,362	-1,647	-15,33	-76,7	0,0425	-3,26
	45	1000	-180	-0,277	-1,297	-1,573	-15,33	-76,7	0,0475	-3,64
	50	1000	-175	-0,269	-1,231	-1,500	-14,76	-73,8	0,0525	-3,87
	55	1000	-170	-0,261	-1,165	-1,426	-14,03	-70,2	0,0575	-4,03
	60	1000	-165	-0,254	-1,099	-1,353	-13,31	-66,5	0,0625	-4,16
	65	1000	-160	-0,246	-1,033	-1,279	-12,58	-62,9	0,0675	-4,25
	70	1000	-155	-0,238	-0,967	-1,205	-11,86	-59,3	0,0725	-4,30
	75	1000	-150	-0,231	-0,901	-1,132	-11,14	-55,7	0,0775	-4,32
	80	1000	-145	-0,223	-0,835	-1,058	-10,41	-52,1	0,0825	-4,30
	85	1000	-140	-0,215	-0,770	-0,985	-9,69	-48,4	0,0875	-4,24
	90	1000	-135	-0,208	-0,704	-0,911	-8,96	-44,8	0,0925	-4,15
	95	1000	-130	-0,200	-0,638	-0,838	-8,24	-41,2	0,0975	-4,02
	100	1000	-125	-0,192	-0,572	-0,764	-7,52	-37,6	0,1025	-3,85
	105	1000	-120	-0,184	-0,506	-0,690	-6,79	-34,0	0,1075	-3,65
	110	1000	-115	-0,177	-0,440	-0,617	-6,07	-30,3	0,1125	-3,41
	115	1000	-110	-0,169	-0,374	-0,543	-5,35	-26,7	0,1175	-3,14
	120	1000	-105	-0,161	-0,308	-0,470	-4,62	-23,1	0,1225	-2,83
	125	1000	-100	-0,154	-0,242	-0,396	-3,90	-19,5	0,1275	-2,48
	130	1000	-95	-0,146	-0,177	-0,323	-3,17	-15,9	0,1325	-2,10
	135	1000	-90	-0,138	-0,111	-0,249	-2,45	-12,3	0,1375	-1,68
	140	1000	-85	-0,131	-0,045	-0,175	-1,73	-8,6	0,1425	-1,23
	145	1000	-80	-0,123	0,021	-0,102	-1,00	-5,0	0,1475	-0,74
	150	1000	-75	-0,115	0,087	-0,028	-0,28	-1,4	0,1525	-0,21
	155	1000	-70	-0,108	0,153	0,045	0,45	0,0	0	0,00
	375	1000	150	0,231	3,052	3,282	32,29	0,0	0	0,00
	400	1000	175	0,269	3,381	3,650	180,00	791,7	0,4	316,67
	425	1000	200	0,307	3,711	4,018	39,53	0,0	0	0,00
	450	1000	225	0,346	4,040	4,386	43,15	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,451	344,37



## DESKOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 12 m

Poloha neutrální osy od horních vláken  
[mm]

188,5

FC [kN]

FS [kN]

MRd [kNm]

-2005

2006

1188,2

DESKA

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1000	-350	-0,462	-1,489	-1,951	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-345	-0,456	-1,449	-1,905	-15,33	-536,7	0,0225	-12,08
	40	1000	-310	-0,410	-1,173	-1,582	-15,33	-76,7	0,0425	-3,26
	45	1000	-305	-0,403	-1,133	-1,536	-15,12	-75,6	0,0475	-3,59
	50	1000	-300	-0,396	-1,094	-1,490	-14,66	-73,3	0,0525	-3,85
	55	1000	-295	-0,390	-1,054	-1,444	-14,21	-71,0	0,0575	-4,09
	60	1000	-290	-0,383	-1,015	-1,398	-13,76	-68,8	0,0625	-4,30
	65	1000	-285	-0,377	-0,975	-1,352	-13,30	-66,5	0,0675	-4,49
	70	1000	-280	-0,370	-0,936	-1,306	-12,85	-64,2	0,0725	-4,66
	75	1000	-275	-0,363	-0,896	-1,260	-12,39	-62,0	0,0775	-4,80
	80	1000	-270	-0,357	-0,857	-1,214	-11,94	-59,7	0,0825	-4,93
	85	1000	-265	-0,350	-0,817	-1,168	-11,49	-57,4	0,0875	-5,03
	90	1000	-260	-0,344	-0,778	-1,122	-11,03	-55,2	0,0925	-5,10
	95	1000	-255	-0,337	-0,738	-1,075	-10,58	-52,9	0,0975	-5,16
	100	1000	-250	-0,330	-0,699	-1,029	-10,13	-50,6	0,1025	-5,19
	105	1000	-245	-0,324	-0,660	-0,983	-9,67	-48,4	0,1075	-5,20
	110	1000	-240	-0,317	-0,620	-0,937	-9,22	-46,1	0,1125	-5,19
	115	1000	-235	-0,310	-0,581	-0,891	-8,77	-43,8	0,1175	-5,15
	120	1000	-230	-0,304	-0,541	-0,845	-8,31	-41,6	0,1225	-5,09
	125	1000	-225	-0,297	-0,502	-0,799	-7,86	-39,3	0,1275	-5,01
	130	1000	-220	-0,291	-0,462	-0,753	-7,41	-37,0	0,1325	-4,91
	135	1000	-215	-0,284	-0,423	-0,707	-6,95	-34,8	0,1375	-4,78
	140	1000	-210	-0,277	-0,383	-0,661	-6,50	-32,5	0,1425	-4,63
	145	1000	-205	-0,271	-0,344	-0,614	-6,05	-30,2	0,1475	-4,46
	150	1000	-200	-0,264	-0,304	-0,568	-5,59	-28,0	0,1525	-4,26
	155	1000	-195	-0,258	-0,265	-0,522	-5,14	-25,7	0,1575	-4,05
	160	1000	-190	-0,251	-0,225	-0,476	-4,68	-23,4	0,1625	-3,81
	165	1000	-185	-0,244	-0,186	-0,430	-4,23	-21,2	0,1675	-3,54
	170	1000	-180	-0,238	-0,146	-0,384	-3,78	-18,9	0,1725	-3,26
	175	1000	-175	-0,231	-0,107	-0,338	-3,32	-16,6	0,1775	-2,95
	180	1000	-170	-0,225	-0,067	-0,292	-2,87	-14,4	0,1825	-2,62
	185	1000	-165	-0,218	-0,028	-0,246	-2,42	-12,1	0,1875	-2,27
	190	1000	-160	-0,211	0,012	-0,200	-1,96	-9,8	0,1925	-1,89
	195	1000	-155	-0,205	0,051	-0,153	-1,51	-7,5	0,1975	-1,49
	200	1000	-150	-0,198	0,091	-0,107	-1,06	-26,4	0,2125	-5,61
	225	1000	-125	-0,165	0,288	0,123	1,21	0,0	0	0,00
	625	1000	275	0,363	3,448	3,811	37,50	0,0	0	0,00
	647	1000	297	0,392	3,621	4,014	180,00	1242,4	0,647	803,82
	700	1000	350	0,462	4,040	4,502	44,30	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,701	535,26

Shrnutí výsledků : zesílení externí lepenou výztuží - deskové mosty			
rozpětí [m]	4	8	12
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	<b>301,2</b>	<b>574,9</b>	<b>1188,2</b>

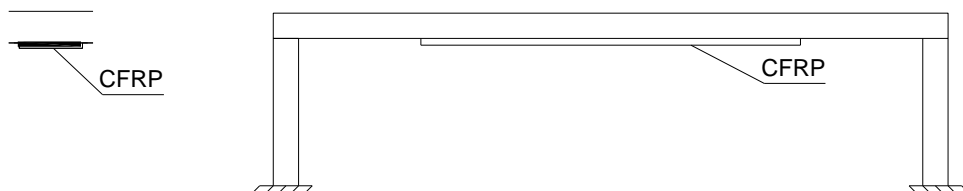
## 7.5 Rámové mosty

U rámových mostů není z technologických důvodů možné zvýšit únosnost v rohu. Lamely používané na zesílení nejsou tolik ohybné. Kdyby se již zalomené vyrobily, klesla by únosnost a bylo by náročné výztuž ochránit. Zesílení bude proto počítáno pouze pro průřezy v poli.

Vstupní parametry:

Zesílení externí lepenou výztuží – vstup pro výpočet rámových mostů			
rozpětí [m]	4	8	12
M <sub>g</sub> [kNm]	8,29	45,79	129,54
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	1,30E+09	3,57E+09	1,04E+10
h [mm]	250	350	500
ezh [mm]	-125	-175	-250
σ <sub>h</sub> [MPa]	-0,80	-2,24	-3,11
σ <sub>d</sub> [MPa]	0,80	2,24	3,11
A <sub>s,prov</sub> [mm <sup>2</sup> ]	2011	3142	4084

Schéma FRP výztuže:



RÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 4 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]

98,7

FC [kN]

FS [kN]

MRd [kNm]

-1124

1125

221,5

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1000	-125	-0,081	-2,635	-2,716	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-120	-0,078	-2,502	-2,580	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-115	-0,074	-2,368	-2,443	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-110	-0,071	-2,235	-2,306	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-105	-0,068	-2,101	-2,169	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-100	-0,065	-1,968	-2,033	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
	30	1000	-95	-0,061	-1,834	-1,896	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
	35	1000	-90	-0,058	-1,701	-1,759	-15,33	-76,7	0,0375	-2,88
	40	1000	-85	-0,055	-1,567	-1,622	-15,33	-76,7	0,0425	-3,26
	45	1000	-80	-0,052	-1,434	-1,486	-14,62	-73,1	0,0475	-3,47
	50	1000	-75	-0,049	-1,300	-1,349	-13,27	-66,4	0,0525	-3,48
	55	1000	-70	-0,045	-1,167	-1,212	-11,93	-59,6	0,0575	-3,43
	60	1000	-65	-0,042	-1,033	-1,075	-10,58	-52,9	0,0625	-3,31
	65	1000	-60	-0,039	-0,900	-0,939	-9,24	-46,2	0,0675	-3,12
	70	1000	-55	-0,036	-0,766	-0,802	-7,89	-39,5	0,0725	-2,86
	75	1000	-50	-0,032	-0,633	-0,665	-6,54	-32,7	0,0775	-2,54
	80	1000	-45	-0,029	-0,499	-0,528	-5,20	-26,0	0,0825	-2,14
	85	1000	-40	-0,026	-0,366	-0,392	-3,85	-19,3	0,0875	-1,69
	90	1000	-35	-0,023	-0,232	-0,255	-2,51	-12,5	0,0925	-1,16
	95	1000	-30	-0,019	-0,099	-0,118	-1,16	-5,8	0,0975	-0,57
	100	1000	-25	-0,016	0,035	0,019	0,18	0,0	0	0,00
	105	1000	-20	-0,013	0,168	0,155	1,53	0,0	0	0,00
	110	1000	-15	-0,010	0,302	0,292	2,87	0,0	0	0,00
	115	1000	-10	-0,006	0,435	0,429	4,22	0,0	0	0,00
	120	1000	-5	-0,003	0,569	0,566	5,56	0,0	0	0,00
	125	1000	0	0,000	0,702	0,702	6,91	0,0	0	0,00
	130	1000	5	0,003	0,836	0,839	8,25	0,0	0	0,00
	135	1000	10	0,006	0,969	0,976	9,60	0,0	0	0,00
	140	1000	15	0,010	1,103	1,112	10,95	0,0	0	0,00
	145	1000	20	0,013	1,236	1,249	12,29	0,0	0	0,00
	150	1000	25	0,016	1,370	1,386	13,64	0,0	0	0,00
	175	1000	50	0,032	2,037	2,070	20,36	0,0	0	0,00
	200	1000	75	0,049	2,705	2,753	27,09	0,0	0	0,00
	202	1000	77	0,050	2,758	2,808	180,00	361,9	0,202	73,11
	225	1000	100	0,065	3,372	3,437	33,82	0,0	0	0,00
	250	1000	125	0,081	4,040	4,121	40,54	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,251	191,65

RÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 8 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]

121,5

FC [kN]

FS [kN]

-1328

1329

MRd [kNm]

375,9

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1000	-175	-0,228	-2,148	-2,376	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-170	-0,221	-2,060	-2,281	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-165	-0,215	-1,971	-2,186	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-160	-0,208	-1,883	-2,091	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-155	-0,202	-1,795	-1,996	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-150	-0,195	-1,706	-1,902	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
	30	1000	-145	-0,189	-1,618	-1,807	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
	35	1000	-140	-0,182	-1,529	-1,712	-15,33	-76,7	0,0375	-2,88
	40	1000	-135	-0,176	-1,441	-1,617	-15,33	-76,7	0,0425	-3,26
	45	1000	-130	-0,169	-1,353	-1,522	-14,97	-74,9	0,0475	-3,56
	50	1000	-125	-0,163	-1,264	-1,427	-14,04	-70,2	0,0525	-3,69
	55	1000	-120	-0,156	-1,176	-1,332	-13,11	-65,5	0,0575	-3,77
	60	1000	-115	-0,150	-1,087	-1,237	-12,17	-60,9	0,0625	-3,80
	65	1000	-110	-0,143	-0,999	-1,142	-11,24	-56,2	0,0675	-3,79
	70	1000	-105	-0,137	-0,911	-1,047	-10,30	-51,5	0,0725	-3,74
	75	1000	-100	-0,130	-0,822	-0,952	-9,37	-46,9	0,0775	-3,63
	80	1000	-95	-0,124	-0,734	-0,857	-8,44	-42,2	0,0825	-3,48
	85	1000	-90	-0,117	-0,645	-0,763	-7,50	-37,5	0,0875	-3,28
	90	1000	-85	-0,111	-0,557	-0,668	-6,57	-32,8	0,0925	-3,04
	95	1000	-80	-0,104	-0,469	-0,573	-5,64	-28,2	0,0975	-2,75
	100	1000	-75	-0,098	-0,380	-0,478	-4,70	-23,5	0,1025	-2,41
	105	1000	-70	-0,091	-0,292	-0,383	-3,77	-18,8	0,1075	-2,02
	110	1000	-65	-0,085	-0,203	-0,288	-2,83	-14,2	0,1125	-1,59
	115	1000	-60	-0,078	-0,115	-0,193	-1,90	-9,5	0,1175	-1,12
	120	1000	-55	-0,072	-0,027	-0,098	-0,97	-4,8	0,1225	-0,59
	125	1000	-50	-0,065	0,062	-0,003	-0,03	-0,2	0,1275	-0,02
	130	1000	-45	-0,059	0,150	0,092	0,90	0,0	0	0,00
	135	1000	-40	-0,052	0,239	0,187	1,84	0,0	0	0,00
	140	1000	-35	-0,046	0,327	0,281	2,77	0,0	0	0,00
	145	1000	-30	-0,039	0,415	0,376	3,70	0,0	0	0,00
	225	1000	50	0,065	1,830	1,895	18,64	0,0	0	0,00
	250	1000	75	0,098	2,272	2,370	23,31	0,0	0	0,00
	275	1000	100	0,130	2,714	2,844	27,98	0,0	0	0,00
	300	1000	125	0,163	3,156	3,319	180,00	565,5	0,3	169,65
	325	1000	150	0,195	3,598	3,793	37,32	0,0	0	0,00
	350	1000	175	0,228	4,040	4,268	41,99	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,351	268,01

RÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 12 m

Poloha neutrální osy od horních vláken [mm]

145,5

FC [kN]

FS [kN]

-1500

1499

MRd [kNm]

629,4

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1000	-250	-0,316	-1,658	-1,974	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-245	-0,310	-1,601	-1,911	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-240	-0,303	-1,544	-1,848	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-235	-0,297	-1,487	-1,784	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-230	-0,291	-1,430	-1,721	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-225	-0,284	-1,373	-1,658	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
	30	1000	-220	-0,278	-1,316	-1,594	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
	35	1000	-215	-0,272	-1,259	-1,531	-15,06	-75,3	0,0375	-2,82
	40	1000	-210	-0,265	-1,202	-1,468	-14,44	-72,2	0,0425	-3,07
	45	1000	-205	-0,259	-1,145	-1,404	-13,82	-69,1	0,0475	-3,28
	50	1000	-200	-0,253	-1,088	-1,341	-13,20	-66,0	0,0525	-3,46
	55	1000	-195	-0,246	-1,031	-1,278	-12,57	-62,9	0,0575	-3,61
	60	1000	-190	-0,240	-0,974	-1,215	-11,95	-59,7	0,0625	-3,73
	65	1000	-185	-0,234	-0,917	-1,151	-11,33	-56,6	0,0675	-3,82
	70	1000	-180	-0,228	-0,860	-1,088	-10,70	-53,5	0,0725	-3,88
	75	1000	-175	-0,221	-0,803	-1,025	-10,08	-50,4	0,0775	-3,91
	80	1000	-170	-0,215	-0,746	-0,961	-9,46	-47,3	0,0825	-3,90
	85	1000	-165	-0,209	-0,689	-0,898	-8,84	-44,2	0,0875	-3,87
	90	1000	-160	-0,202	-0,632	-0,835	-8,21	-41,1	0,0925	-3,80
	95	1000	-155	-0,196	-0,576	-0,771	-7,59	-37,9	0,0975	-3,70
	100	1000	-150	-0,190	-0,519	-0,708	-6,97	-34,8	0,1025	-3,57
	105	1000	-145	-0,183	-0,462	-0,645	-6,34	-31,7	0,1075	-3,41
	110	1000	-140	-0,177	-0,405	-0,582	-5,72	-28,6	0,1125	-3,22
	115	1000	-135	-0,171	-0,348	-0,518	-5,10	-25,5	0,1175	-3,00
	120	1000	-130	-0,164	-0,291	-0,455	-4,48	-22,4	0,1225	-2,74
	125	1000	-125	-0,158	-0,234	-0,392	-3,85	-19,3	0,1275	-2,46
	130	1000	-120	-0,152	-0,177	-0,328	-3,23	-16,2	0,1325	-2,14
	135	1000	-115	-0,145	-0,120	-0,265	-2,61	-13,0	0,1375	-1,79
	140	1000	-110	-0,139	-0,063	-0,202	-1,98	-9,9	0,1425	-1,41
	145	1000	-105	-0,133	-0,006	-0,138	-1,36	-6,8	0,1475	-1,00
	150	1000	-100	-0,126	0,051	-0,075	-0,74	-18,5	0,1625	-3,00
	175	1000	-75	-0,095	0,336	0,241	2,38	0,0	0	0,00
	200	1000	-50	-0,063	0,621	0,558	5,49	0,0	0	0,00
	425	1000	175	0,221	3,185	3,406	33,52	0,0	0	0,00
	450	1000	200	0,253	3,470	3,723	180,00	735,1	0,45	330,81
	475	1000	225	0,284	3,755	4,039	39,74	0,0	0	0,00
	500	1000	250	0,316	4,040	4,356	42,86	0,0	0	0,00
FRP						4,040	1818,00	763,6	0,501	382,54

Shrnutí výsledků : zesílení externí lepenou výztuží - rámové mosty			
rozpětí [m]	4	8	12
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	<b>221,5</b>	<b>375,9</b>	<b>629,4</b>

## 8. Zesílení externím předpětím

Při návrhu předpětí se snažíme, aby vyrovnalo účinky od vlastní tíhy. Musí se volit taková excentricita a taková předpínací síla, aby od kombinace vlastní tíhy a předpětí v průřezu nevznikl tah. Při příliš velké předpínací síle, působící mimo jádro průřezu, vniká tah u povrchu konstrukce. V případě této práce se síla z lana do konstrukce přenáší přes deviátory a kotvy. Jelikož lano není po celé délce připojeno ke konstrukci, síla v předpínacím laně se s deformací průřezu nezvětšuje. K mezi únosnosti tedy dojde buď drcením tlačného betonu, nebo přetržením výztuže. Ztráty předpětím nebudou počítány, ale pouze odhadnuty následující hodnotou: krátkodobé ztráty předpětí 10%, dlouhodobé ztráty předpětí 20%. Mezi krátkodobé ztráty patří tření výztuže, které vzniká zejména v místě deviátorů, kde lano mění směr. Dále pružné zkrácení betonu, krátkodobá relaxace oceli a pokluz v kotvě. Dlouhodobé ztráty způsobuje například dlouhodobá relaxace výztuže, či dotvarování a smršťování betonu.

Výpočet pro všechny mosty bude proveden ve dvou různých časech, a to při vnesení předpětí a na konci životnosti. Z úsporných důvodů nebude uveden celý výpočet na konci životnosti, ale pouze výsledky. Výpočet na konci životnosti se liší velikostí síly v předpínacím laně a dlouhodobým modulem pružnosti betonu.

Stejně jako při výpočtu FRP výztuže se použije k výpočtu proužková metoda. Externí předpínací výztuž je v tabulkách označena zelenou barvou. Původní výztuž je označena barvou šedou.

## 8.1 Materiálové charakteristiky

Beton C23/28		Výztuž C37		Předpínací výztuž Y1770S7	
$f_{cd}$ [MPa]	15,33	$f_{yd}$ [MPa]	180	$f_{pk}$ [MPa]	1770
$\epsilon_{c,pl}$ [‰]	-1,56	$\epsilon_y$ [‰]	0,9	$f_{p0,1k}$ [MPa]	1565
$\epsilon_{c,u}$ [‰]	-3,5	$\epsilon_{s,u}$ [‰]	20	$\gamma_s$	1,15
$E$ [MPa]	30500,00	$E$ [MPa]	200000	$E_p$ [MPa]	195000
$\phi$ [-]	2,10			$f_{pd}$ [MPa]	1539,1
$E_{dl}$ [MPa]	9839			$f_{p0,1d}$ [MPa]	1360,9
				$\epsilon_{ud}$ [‰]	20
				$\epsilon_{uk}$ [‰]	22,2
				$\sigma_{max,1}$ [MPa]	1408,5
				$\sigma_{max,2}$ [MPa]	1416

## 8.2 Trámové mosty – prostý nosník

Nejprve budou uvedeny vstupní parametry výpočtu pro všechny prosté trámové mosty. Následovat budou výpočty proužkovou metodou, nakonec bude shrnutí únosností.

Vstupní parametry:

Zesílení externím předpětím – vstup pro výpočet prostých trámových mostů				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$M_g$ [kNm]	62,29	189,43	524,66	1192,10
$N_{p,in}$ [kN]	350	775,00	1000	2000
$\sigma_p$ [MPa]	1166,7	1291,7	1111,1	1333,3
$NP_{VP}$ [kN]	315	697,5	900	1800
$NP_{KZ}$ [kN]	280	620	800	1600
$e_p$ [m]	-0,285	-0,419	-0,656	-0,856
$M_{p,VP}$ [kNm]	-89,8	-292,3	-590,4	-1540,8
$M_{p,KZ}$ [kNm]	-79,8	-259,78	-524,8	-1369,6
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	380000	432500	572500	780000
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	9,00E+09	1,84E+10	6,76E+10	1,76E+11
$h$ [mm]	550	700	1100	1500
$e_{zh}$ [mm]	-215	-231	-394	-594
$A_p$ [mm <sup>2</sup> ]	300	600	900	1500
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	4825	6434	9651	12064

kde  $NP_{in}$  je síla vnášená do předpínací výztuže

$\sigma_p$  je napětí v předpínací výztuži při vnesení předpětí

$NP_{VP}$  je síla v předpínací výztuži po odečtení krátkodob. ztrát

$NP_{KZ}$  je síla v předpínací výztuži po odečtení dlouhodob. ztrát

$e_p$  je excentricita předpínací výztuže

PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 6 m			Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]		60,6		FC [kN]		FS [kN]		MRd [kNm]  531,9	
							-1182		1184			
DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	ε <sub>in</sub> [‰]	Δε [‰]	ε [‰]	σ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]		
	0	1600	-215	-0,018	-3,021	-3,039	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31		
	5	1600	-210	-0,019	-2,772	-2,791	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92		
	10	1600	-205	-0,021	-2,523	-2,543	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53		
	15	1600	-200	-0,022	-2,273	-2,296	-15,33	-122,7	0,0175	-2,15		
	20	1600	-195	-0,024	-2,024	-2,048	-15,33	-122,7	0,0225	-2,76		
	25	1600	-190	-0,025	-1,775	-1,800	-15,33	-122,7	0,0275	-3,37		
	30	1600	-185	-0,027	-1,526	-1,552	-15,27	-122,2	0,0325	-3,97		
	35	1600	-180	-0,028	-1,276	-1,305	-12,84	-102,7	0,0375	-3,85		
	40	1600	-175	-0,030	-1,027	-1,057	-10,40	-83,2	0,0425	-3,54		
	45	1600	-170	-0,031	-0,778	-0,809	-7,96	-63,7	0,0475	-3,03		
	50	1600	-165	-0,033	-0,528	-0,562	-5,52	-44,2	0,0525	-2,32		
	55	1600	-160	-0,035	-0,279	-0,314	-3,09	-24,7	0,0575	-1,42		
	60	1600	-155	-0,036	-0,030	-0,066	-0,65	-5,2	0,0625	-0,32		
	65	1600	-150	-0,038	0,219	0,182	1,79	0,0	0	0		
	140	1600	-75	-0,061	3,959	3,898	38,35	0,0	0	0		
	145	1600	-70	-0,063	4,208	4,145	40,78	0,0	0	0		
	150	1600	-65	-0,064	4,457	4,393	43,22	0,0	0	0		
TRÁM	150	350	-65	-0,064	4,457	4,393	43,22	0,0	0	0		
	175	350	-40	-0,072	5,704	5,632	55,41	0,0	0	0		
	200	350	-15	-0,080	6,950	6,870	67,60	0,0	0	0		
	225	350	10	-0,087	8,196	8,109	79,78	0,0	0	0		
	250	350	35	-0,095	9,443	9,348	91,97	0,0	0	0		
	275	350	60	-0,103	10,689	10,586	104,16	0,0	0	0		
	300	350	85	-0,111	11,936	11,825	116,34	0,0	0	0		
	325	350	110	-0,118	13,182	13,064	128,53	0,0	0	0		
	350	350	135	-0,126	14,428	14,302	140,72	0,0	0	0		
	375	350	160	-0,134	15,675	15,541	152,90	0,0	0	0		
	400	350	185	-0,142	16,921	16,780	165,09	0,0	0	0		
	425	350	210	-0,149	18,168	18,018	177,28	0,0	0	0		
	450	350	235	-0,157	19,414	19,257	189,46	0,0	0	0		
	465	350	250	-0,162	20,162	20,000	180,00	868,6	0,465	403,9		
	475	350	260	-0,165	20,660	20,495	201,65	0,0	0	0		
	500	350	285	5,385		5,385	1050,00	315,0	0,5	157,5		
	525	350	310	-0,180	23,153	22,973	226,02	0,0	0	0		
	550	350	335	-0,188	24,400	24,211	238,21	0,0	0	0		



PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 10 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken  
[mm]

91,8

FC [kN]

-1855

FS [kN]

1856

MRd [kNm]

1086,7

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-231	-0,033	-3,467	-3,500	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
	5	1600	-226	-0,036	-3,278	-3,314	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92
	10	1600	-221	-0,038	-3,090	-3,128	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53
	15	1600	-216	-0,041	-2,901	-2,942	-15,33	-122,7	0,0175	-2,15
	20	1600	-211	-0,044	-2,712	-2,756	-15,33	-122,7	0,0225	-2,76
	25	1600	-206	-0,047	-2,523	-2,570	-15,33	-122,7	0,0275	-3,37
	30	1600	-201	-0,050	-2,334	-2,384	-15,33	-122,7	0,0325	-3,99
	35	1600	-196	-0,053	-2,145	-2,198	-15,33	-122,7	0,0375	-4,60
	40	1600	-191	-0,055	-1,956	-2,012	-15,33	-122,7	0,0425	-5,21
	45	1600	-186	-0,058	-1,768	-1,826	-15,33	-122,7	0,0475	-5,83
	50	1600	-181	-0,061	-1,579	-1,640	-15,33	-122,7	0,0525	-6,44
	55	1600	-176	-0,064	-1,390	-1,454	-14,30	-114,4	0,0575	-6,58
	60	1600	-171	-0,067	-1,201	-1,268	-12,47	-99,8	0,0625	-6,24
	65	1600	-166	-0,070	-1,012	-1,082	-10,64	-85,2	0,0675	-5,75
	70	1600	-161	-0,072	-0,823	-0,896	-8,81	-70,5	0,0725	-5,11
	75	1600	-156	-0,075	-0,635	-0,710	-6,98	-55,9	0,0775	-4,33
	80	1600	-151	-0,078	-0,446	-0,524	-5,15	-41,2	0,0825	-3,40
	85	1600	-146	-0,081	-0,257	-0,338	-3,32	-26,6	0,0875	-2,33
	90	1600	-141	-0,084	-0,068	-0,152	-1,49	-11,9	0,0925	-1,11
	95	1600	-136	-0,087	0,121	0,034	0,34	0,0	0	0,00
	140	1600	-91	-0,112	1,821	1,708	16,81	0,0	0	0,00
	145	1600	-86	-0,115	2,009	1,894	18,64	0,0	0	0,00
	150	1600	-81	-0,118	2,198	2,080	20,47	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-81	-0,118	2,198	2,080	20,47	0,0	0	0,00
	175	350	-56	-0,132	3,142	3,010	29,62	0,0	0	0,00
	200	350	-31	-0,146	4,087	3,940	38,77	0,0	0	0,00
	450	350	219	-0,288	13,529	13,241	130,27	0,0	0	0,00
	475	350	244	-0,303	14,473	14,171	139,42	0,0	0	0,00
	500	350	269	-0,317	15,418	15,101	148,57	0,0	0	0,00
	525	350	294	-0,331	16,362	16,031	157,72	0,0	0	0,00
	550	350	319	-0,345	17,306	16,961	166,88	0,0	0	0,00
	575	350	344	-0,359	18,250	17,891	176,03	0,0	0	0,00
	600	350	369	-0,373	19,195	18,821	185,18	0,0	0	0,00
	609	350	378	-0,379	19,535	19,156	180,00	1158,1	0,609	705,29
	625	350	394	-0,388	20,139	19,751	194,33	0,0	0	0,00
	650	350	419	5,962		5,962	1162,50	697,5	0,65	453,38
	675	350	444	-0,416	22,027	21,611	212,63	0,0	0	0,00
	700	350	469	-0,430	22,972	22,541	221,78	0,0	0	0,00

PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 15 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	132
-------------------------------------------	-----

FC [kN]	FS [kN]
-2638	2637

MRd [kNm]
2490,8

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	ε <sub>in</sub> [‰]	Δε [‰]	ε [‰]	σ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1600	-394	-0,121	-3,169	-3,290	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
DESKA	5	1600	-389	-0,121	-3,049	-3,171	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92
	10	1600	-384	-0,122	-2,929	-3,051	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53
	15	1600	-379	-0,122	-2,809	-2,932	-15,33	-122,7	0,0175	-2,15
	20	1600	-374	-0,123	-2,689	-2,812	-15,33	-122,7	0,0225	-2,76
	25	1600	-369	-0,123	-2,569	-2,692	-15,33	-122,7	0,0275	-3,37
	30	1600	-364	-0,124	-2,449	-2,573	-15,33	-122,7	0,0325	-3,99
	35	1600	-359	-0,124	-2,329	-2,453	-15,33	-122,7	0,0375	-4,60
	40	1600	-354	-0,125	-2,209	-2,334	-15,33	-122,7	0,0425	-5,21
	45	1600	-349	-0,125	-2,089	-2,214	-15,33	-122,7	0,0475	-5,83
	50	1600	-344	-0,126	-1,969	-2,095	-15,33	-122,7	0,0525	-6,44
	55	1600	-339	-0,126	-1,849	-1,975	-15,33	-122,7	0,0575	-7,05
	60	1600	-334	-0,127	-1,729	-1,856	-15,33	-122,7	0,0625	-7,67
	65	1600	-329	-0,127	-1,609	-1,736	-15,33	-122,7	0,0675	-8,28
	70	1600	-324	-0,128	-1,489	-1,616	-15,33	-122,7	0,0725	-8,89
	75	1600	-319	-0,128	-1,369	-1,497	-14,73	-117,8	0,0775	-9,13
	80	1600	-314	-0,129	-1,249	-1,377	-13,55	-108,4	0,0825	-8,94
	85	1600	-309	-0,129	-1,129	-1,258	-12,37	-99,0	0,0875	-8,66
	90	1600	-304	-0,130	-1,008	-1,138	-11,20	-89,6	0,0925	-8,29
	95	1600	-299	-0,130	-0,888	-1,019	-10,02	-80,2	0,0975	-7,82
	100	1600	-294	-0,131	-0,768	-0,899	-8,85	-70,8	0,1025	-7,25
	105	1600	-289	-0,131	-0,648	-0,780	-7,67	-61,4	0,1075	-6,60
	110	1600	-284	-0,132	-0,528	-0,660	-6,49	-51,9	0,1125	-5,84
	115	1600	-279	-0,132	-0,408	-0,540	-5,32	-42,5	0,1175	-5,00
	120	1600	-274	-0,133	-0,288	-0,421	-4,14	-33,1	0,1225	-4,06
	125	1600	-269	-0,133	-0,168	-0,301	-2,96	-23,7	0,1275	-3,02
	130	1600	-264	-0,134	-0,048	-0,182	-1,79	-14,3	0,1325	-1,90
	135	1600	-259	-0,134	0,072	-0,062	-0,61	-4,9	0,1375	-0,67
	140	1600	-254	-0,135	0,192	0,057	0,56	0,0	0	0,00
	145	1600	-249	-0,135	0,312	0,177	1,74	0,0	0	0,00
	150	1600	-244	-0,136	0,432	0,297	2,92	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-244	-0,136	0,432	0,297	2,92	0,0	0	0,00
	950	350	556	-0,215	19,641	19,426	191,13	0,0	0	0,00
	974	350	580	-0,217	20,217	20,000	180,00	1737,2	0,974	1692,01
	975	350	581	-0,217	20,241	20,024	197,01	0,0	0	0,00
	1025	350	631	-0,222	21,442	21,220	208,77	0,0	0	0,00
	1050	350	656	5,128		5,128	1000,00	900,0	1,05	945,00
	1075	350	681	-0,227	22,642	22,415	220,54	0,0	0	0,00
	1100	350	706	-0,230	23,242	23,013	226,42	0,0	0	0,00

PROSTÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 20 m	Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	170,9	FC [kN]	FS [kN]	MRd [kNm]
			-3251	3251	<b>4327,2</b>

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-594	-0,115	-2,897	-3,012	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
	5	1600	-589	-0,116	-2,812	-2,928	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92
	10	1600	-584	-0,117	-2,727	-2,844	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53
	15	1600	-579	-0,118	-2,642	-2,760	-15,33	-981,3	0,035	-34,35
	55	1600	-539	-0,126	-1,964	-2,090	-15,33	-122,7	0,0575	-7,05
	60	1600	-534	-0,127	-1,880	-2,007	-15,33	-122,7	0,0625	-7,67
	65	1600	-529	-0,128	-1,795	-1,923	-15,33	-122,7	0,0675	-8,28
	70	1600	-524	-0,129	-1,710	-1,839	-15,33	-122,7	0,0725	-8,89
	75	1600	-519	-0,130	-1,625	-1,755	-15,33	-122,7	0,0775	-9,51
	80	1600	-514	-0,131	-1,541	-1,672	-15,33	-122,7	0,0825	-10,12
	85	1600	-509	-0,132	-1,456	-1,588	-15,33	-122,7	0,0875	-10,73
	90	1600	-504	-0,133	-1,371	-1,504	-14,80	-118,4	0,0925	-10,95
	95	1600	-499	-0,134	-1,286	-1,420	-13,98	-111,8	0,0975	-10,90
	100	1600	-494	-0,135	-1,202	-1,337	-13,15	-105,2	0,1025	-10,78
	105	1600	-489	-0,136	-1,117	-1,253	-12,33	-98,6	0,1075	-10,60
	110	1600	-484	-0,137	-1,032	-1,169	-11,50	-92,0	0,1125	-10,35
	115	1600	-479	-0,138	-0,947	-1,086	-10,68	-85,4	0,1175	-10,04
	120	1600	-474	-0,139	-0,863	-1,002	-9,86	-78,8	0,1225	-9,66
	125	1600	-469	-0,140	-0,778	-0,918	-9,03	-72,3	0,1275	-9,21
	130	1600	-464	-0,141	-0,693	-0,834	-8,21	-65,7	0,1325	-8,70
	135	1600	-459	-0,142	-0,608	-0,751	-7,38	-59,1	0,1375	-8,12
	140	1600	-454	-0,143	-0,524	-0,667	-6,56	-52,5	0,1425	-7,48
	145	1600	-449	-0,144	-0,439	-0,583	-5,74	-45,9	0,1475	-6,77
	150	1600	-444	-0,145	-0,354	-0,499	-4,91	0,0	0	0,00
TRÁM	150	400	-444	-0,145	-0,354	-0,499	-4,91	-49,1	0,1625	-7,98
	175	400	-419	-0,150	0,069	-0,081	-0,79	-7,9	0,1875	-1,49
	200	400	-394	-0,155	0,493	0,338	3,33	0,0	0	0,00
	1275	400	681	-0,372	18,714	18,342	180,46	0,0	0	0,00
	1350	400	756	-0,387	19,985	19,598	192,82	0,0	0	0,00
	1374	400	780	-0,392	20,392	20,000	180,00	2171,5	1,374	2983,60
	1375	400	781	-0,392	20,409	20,017	196,94	0,0	0	0,00
	1425	400	831	-0,402	21,256	20,854	205,18	0,0	0	0,00
	1450	400	856	6,154		6,154	1200,00	1080,0	1,45	1566,00
	1475	400	881	-0,412	22,104	21,692	213,42	0,0	0	0,00
	1500	400	906	-0,417	22,527	22,110	217,54	0,0	0	0,00

Následuje shrnutí výsledků momentu únosnosti v čase vnesení předpětí

Shrnutí výsledků: zesílení externím předpětím (VP) - prosté trávy				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$M_{Rd}$ [kNm]	<b>531,9</b>	<b>1086,7</b>	<b>2490,8</b>	<b>4327,2</b>

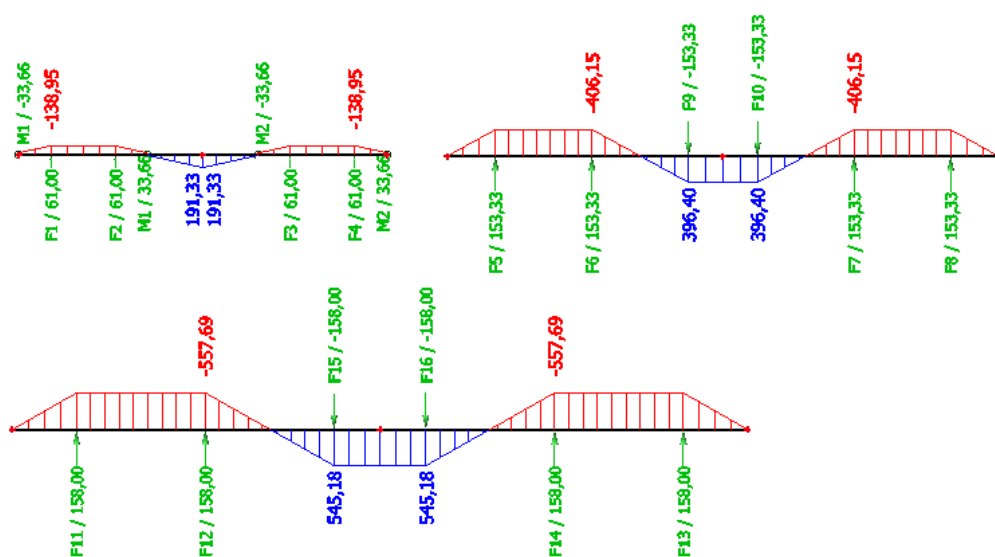
Na konci životnosti potom:

Shrnutí výsledků: zesílení externím předpětím (KŽ) - prosté trávy				
rozpětí [m]	6	10	15	20
$M_{Rd}$ [kNm]	<b>516,3</b>	<b>1041,8</b>	<b>2395,6</b>	<b>4166,3</b>

## 8.3 Trámové mosty – spojitý nosník

Spojitý nosník je staticky neurčitá konstrukce. Při předpínání staticky neurčitých konstrukcí vznikají kromě momentu od excentricity také parazitní účinky. Vznikají, protože se konstrukce od předpětí nemůže volně deformovat. Namísto toho předpětí vyvolá reakce v podporách, které způsobí další namáhání konstrukce. Všechna tato namáhání získáme, pokud konstrukci zatížíme silami od předpětí. V tomto případě se jedná o svislé síly v devíátorech a osamělý moment v místě kotev. Osamělý moment v místě kotev vzniká, pokud je kotvení předpínacích kabelů umístěno mimo těžiště. V tomto případě vzniká moment v místě kotvení pouze u mostu o rozpětí 10 m, kde není možné kotvit v místě těžiště (nachází se moc blízko desky). Také kvůli tomu není možné vést předpínací kabely nad podporou.

Momenty od předpětí v čase vnesení předpětí vypadají následovně:

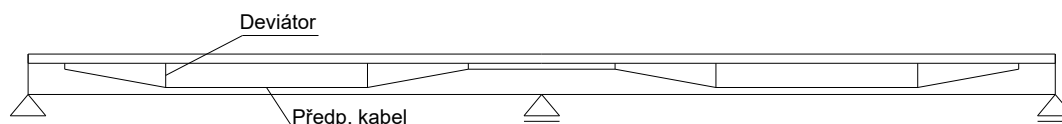


### Vstupní parametry pro výpočet V POLI:

Zesílení externím předpětím v poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
$M_g$ [kNm]	100,75	266,68	614,47
$N_{p_{in}}$ [kN]	340	840	840
$\sigma_p$ [MPa]	1133	1400	1400
$NP_{VP}$ [kN]	306	756	756
$NP_{K\check{Z}}$ [kN]	272	672	672
$e_p$ [m]	-0,356	-0,540	-0,748
$M_{p_{VP}}$ [kNm]	-138,95	-406,15	-557,69
$M_{p_{K\check{Z}}}$ [kNm]	-124,23	-358,65	-495,71
$\alpha$ [rad]	0,2007	0,2029	0,2105
$F_{dev,VP}$ [kNm]	61,00	152,33	158,00
$F_{dev,K\check{Z}}$ [kNm]	54,22	135,40	140,44
$A$ [mm <sup>2</sup> ]	397500	502500	7000000
$I_y$ [mm <sup>4</sup> ]	1,17E+10	3,81E+10	1,18E+11
$h$ [mm]	600	900	1300
$e_{zh}$ [mm]	-194	-310	-502
$A_p$ [mm <sup>2</sup> ]	300	600	600
$A_s$ [mm <sup>2</sup> ]	6434	6434	8042

- kde
- $N_{p_{in}}$  je síla vnášená do předpínací výztuže
  - $\sigma_p$  je napětí v předpínací výztuži při vnesení předpětí
  - $NP_{VP}$  je síla v předpínací výztuži po odečtení krátkodob. ztrát
  - $NP_{K\check{Z}}$  je síla v předpínací výztuži po odečtení dlouhodob. ztrát
  - $e_p$  je excentricita předpínací výztuže
  - $M_p$  jsou momenty od předpětí
  - $\alpha$  je úhel mezi osou nosné konstrukce a šikmou částí lana
  - $F_{dev}$  jsou svislé síly v deviátorech

### Schéma vedení předpínacího lana



SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 10 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	73,3
-------------------------------------------	------

FC [kN]	FS [kN]
-1465	1464

MRd [kNm]
712,9

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	ε <sub>in</sub> [‰]	Δε [‰]	ε [‰]	σ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-194	-0,014	-3,395	-3,409	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
	5	1600	-189	-0,016	-3,164	-3,179	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92
	10	1600	-184	-0,017	-2,932	-2,949	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53
	15	1600	-179	-0,019	-2,701	-2,719	-15,33	-122,7	0,0175	-2,15
	20	1600	-174	-0,021	-2,469	-2,489	-15,33	-122,7	0,0225	-2,76
	25	1600	-169	-0,022	-2,237	-2,260	-15,33	-122,7	0,0275	-3,37
	30	1600	-164	-0,024	-2,006	-2,030	-15,33	-122,7	0,0325	-3,99
	35	1600	-159	-0,025	-1,774	-1,800	-15,33	-122,7	0,0375	-4,60
	40	1600	-154	-0,027	-1,543	-1,570	-15,33	-122,7	0,0425	-5,21
	45	1600	-149	-0,029	-1,311	-1,340	-13,18	-105,4	0,0475	-5,01
	50	1600	-144	-0,030	-1,079	-1,110	-10,92	-87,3	0,0525	-4,59
	55	1600	-139	-0,032	-0,848	-0,880	-8,66	-69,3	0,0575	-3,98
	60	1600	-134	-0,034	-0,616	-0,650	-6,39	-51,2	0,0625	-3,20
	65	1600	-129	-0,035	-0,384	-0,420	-4,13	-33,1	0,0675	-2,23
	70	1600	-124	-0,037	-0,153	-0,190	-1,87	-15,0	0,0725	-1,08
	75	1600	-119	-0,039	0,079	0,040	0,39	0,0	0	0,00
	140	1600	-54	-0,060	3,090	3,029	29,81	0,0	0	0,00
	145	1600	-49	-0,062	3,321	3,259	32,07	0,0	0	0
	150	1600	-44	-0,064	3,553	3,489	34,33	0,0	0	0
TRÁM	150	350	-44	-0,064	3,553	3,489	34,33	0,0	0	0
	175	350	-19	-0,072	4,711	4,639	45,64	0,0	0	0
	200	350	6	-0,080	5,869	5,789	56,95	0,0	0	0
	225	350	31	-0,089	7,027	6,939	68,27	0,0	0	0
	250	350	56	-0,097	8,185	8,088	79,58	0,0	0	0
	275	350	81	-0,105	9,343	9,238	90,89	0,0	0	0
	300	350	106	-0,113	10,501	10,388	102,20	0,0	0	0
	325	350	131	-0,122	11,659	11,538	113,52	0,0	0	0
	350	350	156	-0,130	12,817	12,687	124,83	0,0	0	0
	375	350	181	-0,138	13,976	13,837	136,14	0,0	0	0
	400	350	206	-0,147	15,134	14,987	147,45	0,0	0	0
	425	350	231	-0,155	16,292	16,137	158,77	0,0	0	0
	450	350	256	-0,163	17,450	17,287	170,08	0,0	0	0
	475	350	281	-0,171	18,608	18,436	181,39	0,0	0	0
	500	350	306	-0,180	19,766	19,586	192,70	0,0	0	0
	509	350	315	-0,183	20,183	20,000	180,00	1158,1	0,509	589,5
	525	350	331	-0,188	20,924	20,736	204,01	0,0	0	0
	550	350	356	5,231		5,231	1020,00	306,0	0,55	168,3
	575	350	381	-0,205	23,240	23,035	226,64	0,0	0	0
	600	350	406	-0,213	24,398	24,185	237,95	0,0	0	0

## SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 15 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	100,4
-------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-1914	1914

MRd [kNm]
1501,7

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-310	-0,038	-2,881	-2,919	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
	5	1600	-305	-0,039	-2,738	-2,777	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92
	10	1600	-300	-0,041	-2,594	-2,635	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53
	15	1600	-295	-0,043	-2,451	-2,494	-15,33	-122,7	0,0175	-2,15
	20	1600	-290	-0,045	-2,307	-2,352	-15,33	-122,7	0,0225	-2,76
	25	1600	-285	-0,047	-2,164	-2,210	-15,33	-122,7	0,0275	-3,37
	30	1600	-280	-0,049	-2,020	-2,069	-15,33	-122,7	0,0325	-3,99
	35	1600	-275	-0,051	-1,877	-1,927	-15,33	-122,7	0,0375	-4,60
	40	1600	-270	-0,052	-1,733	-1,785	-15,33	-122,7	0,0425	-5,21
	45	1600	-265	-0,054	-1,589	-1,644	-15,33	-122,7	0,0475	-5,83
	50	1600	-260	-0,056	-1,446	-1,502	-14,78	-118,2	0,0525	-6,21
	55	1600	-255	-0,058	-1,302	-1,361	-13,39	-107,1	0,0575	-6,16
	60	1600	-250	-0,060	-1,159	-1,219	-11,99	-95,9	0,0625	-6,00
	65	1600	-245	-0,062	-1,015	-1,077	-10,60	-84,8	0,0675	-5,72
	70	1600	-240	-0,064	-0,872	-0,936	-9,20	-73,6	0,0725	-5,34
	75	1600	-235	-0,065	-0,728	-0,794	-7,81	-62,5	0,0775	-4,84
	80	1600	-230	-0,067	-0,585	-0,652	-6,42	-51,3	0,0825	-4,24
	85	1600	-225	-0,069	-0,441	-0,511	-5,02	-40,2	0,0875	-3,52
	90	1600	-220	-0,071	-0,298	-0,369	-3,63	-29,0	0,0925	-2,69
	95	1600	-215	-0,073	-0,154	-0,227	-2,24	-17,9	0,0975	-1,74
	100	1600	-210	-0,075	-0,011	-0,086	-0,84	-6,7	0,1025	-0,69
	105	1600	-205	-0,077	0,133	0,056	0,55	0,0	0	0,00
	110	1600	-200	-0,079	0,276	0,198	1,94	0,0	0	0,00
	150	1600	-160	-0,093	1,424	1,331	13,09	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-160	-0,093	1,424	1,331	13,09	0,0	0	0,00
	175	350	-135	-0,103	2,142	2,039	20,06	0,0	0	0,00
	800	350	490	-0,335	20,080	19,745	194,27	0,0	0	0,00
	809	350	499	-0,339	20,339	20,000	180,00	1158,1	0,809	936,92
	825	350	515	-0,345	20,798	20,453	201,23	0,0	0	0,00
	850	350	540	6,462		6,462	1260,00	756,0	0,85	642,60
	875	350	565	-0,363	22,233	21,870	215,17	0,0	0	0,00
	900	350	590	-0,372	22,950	22,578	222,14	0,0	0	0,00

SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 20 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	116,4
-------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-1914	1914

MRd [kNm]
2263,1

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-502	-0,036	-2,128	-2,164	-15,33	-122,7	0,0025	-0,31
	5	1600	-497	-0,035	-2,037	-2,072	-15,33	-122,7	0,0075	-0,92
	10	1600	-492	-0,035	-1,945	-1,980	-15,33	-122,7	0,0125	-1,53
	15	1600	-487	-0,035	-1,854	-1,889	-15,33	-122,7	0,0175	-2,15
	20	1600	-482	-0,035	-1,763	-1,797	-15,33	-122,7	0,0225	-2,76
	25	1600	-477	-0,034	-1,671	-1,705	-15,33	-122,7	0,0275	-3,37
	30	1600	-472	-0,034	-1,580	-1,614	-15,33	-122,7	0,0325	-3,99
	35	1600	-467	-0,034	-1,488	-1,522	-14,98	-119,8	0,0375	-4,49
	40	1600	-462	-0,034	-1,397	-1,430	-14,07	-112,6	0,0425	-4,79
	45	1600	-457	-0,033	-1,305	-1,339	-13,17	-105,4	0,0475	-5,01
	50	1600	-452	-0,033	-1,214	-1,247	-12,27	-98,2	0,0525	-5,15
	55	1600	-447	-0,033	-1,123	-1,155	-11,37	-90,9	0,0575	-5,23
	60	1600	-442	-0,033	-1,031	-1,064	-10,47	-83,7	0,0625	-5,23
	65	1600	-437	-0,032	-0,940	-0,972	-9,56	-76,5	0,0675	-5,16
	70	1600	-432	-0,032	-0,848	-0,880	-8,66	-69,3	0,0725	-5,02
	75	1600	-427	-0,032	-0,757	-0,789	-7,76	-62,1	0,0775	-4,81
	80	1600	-422	-0,032	-0,666	-0,697	-6,86	-54,9	0,0825	-4,53
	85	1600	-417	-0,031	-0,574	-0,606	-5,96	-47,7	0,0875	-4,17
	90	1600	-412	-0,031	-0,483	-0,514	-5,06	-40,4	0,0925	-3,74
	95	1600	-407	-0,031	-0,391	-0,422	-4,15	-33,2	0,0975	-3,24
	100	1600	-402	-0,031	-0,300	-0,331	-3,25	-26,0	0,1025	-2,67
	105	1600	-397	-0,030	-0,208	-0,239	-2,35	-18,8	0,1075	-2,02
	110	1600	-392	-0,030	-0,117	-0,147	-1,45	-11,6	0,1125	-1,30
	115	1600	-387	-0,030	-0,026	-0,056	-0,55	-4,4	0,1175	-0,51
	120	1600	-382	-0,030	0,066	0,036	0,36	0,0	0	0,00
	150	1600	-352	-0,028	0,614	0,586	5,77	0,0	0	0,00
TRÁM	150	400	-352	-0,028	0,614	0,586	5,77	0,0	0	0,00
	175	400	-327	-0,027	1,071	1,044	10,28	0,0	0	0,00
	1100	400	598	0,018	17,983	18,002	177,11	0,0	0	0,00
	1125	400	623	0,020	18,441	18,460	181,62	0,0	0	0,00
	1150	400	648	0,021	18,898	18,918	186,13	0,0	0	0,00
	1175	400	673	0,022	19,355	19,377	190,64	0,0	0	0,00
	1200	400	698	0,023	19,812	19,835	195,15	0,0	0	0,00
	1209	400	707	0,024	19,976	20,000	180,00	1158,1	1,209	1400,16
	1225	400	723	0,024	20,269	20,293	199,66	0,0	0	0,00
	1250	400	748	6,462		6,462	1260,00	756,0	1,25	945,00
	1275	400	773	0,027	21,183	21,210	208,68	0,0	0	0,00
	1300	400	798	0,028	21,640	21,668	213,19	0,0	0	0,00



Následuje shrnutí výsledků momentu únosnosti v čase vnesení předpětí

Shrnutí výsledků : zesílení externím předpětím - spojitá tráva			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	<b>712,9</b>	<b>1501,7</b>	<b>2263,1</b>

Na konci životnosti potom:

Shrnutí výsledků : zesílení externím předpětím - spojitá tráva			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
<b>M<sub>Rd</sub> [kNm]</b>	<b>727,6</b>	<b>1436,3</b>	<b>2164,5</b>

Vstupní parametry pro výpočet NAD PODPOROU:

Zesílení externím předpětím nad podporou			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
M <sub>g</sub> [kNm]	-177,44	-474,06	-1090,38
N <sub>p</sub> [kN]	-	840	840
σ <sub>p</sub> [MPa]	-	1400	1400
N <sub>P<sub>VP</sub></sub> [kN]	-	756	756
N <sub>P<sub>KŽ</sub></sub> [kN]	-	672	672
e <sub>p</sub> [m]	-	0,06	0,252
M <sub>p<sub>VP</sub></sub> [kNm]	191,33	396,4	545,18
M <sub>p<sub>KŽ</sub></sub> [kNm]	183,08	350,05	484,59
α [rad]	-	0,2029	0,2105
F <sub>dev,VP</sub> [kNm]	-	152,33	158,00
F <sub>dev,KŽ</sub> [kNm]	-	135,40	140,44
A [mm <sup>2</sup> ]	397500,00	502500	7000000
I <sub>y</sub> [mm <sup>4</sup> ]	1,17E+10	3,81E+10	1,18E+11
h [mm]	600	900	1300
e <sub>zh</sub> [mm]	-194	-310	-502
A <sub>p</sub> [mm <sup>2</sup> ]	300	600	600
A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	7238	9651	12064

SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 10 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	309,5
-------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-1303	1303

MRd [kNm]
-575,8

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-194	-0,088	3,667	3,579	35,21	0,0	0	0,00
	25	1600	-169	-0,087	3,371	3,284	32,31	0,0	0	0,00
	50	1600	-144	-0,085	3,074	2,989	29,41	0,0	0	0,00
	75	1600	-119	-0,084	2,778	2,694	26,51	0,0	0	0,00
	100	1600	-94	-0,083	2,482	2,399	23,60	0,0	0	0,00
	125	1600	-69	-0,082	2,186	2,104	20,70	0,0	0	0,00
	150	1600	-44	-0,080	1,890	1,809	17,80	0,0	0	0,00
	35	1600	-159	-0,086	3,252	3,166	31,15	0,0	0	0,00
	40	1600	-154	-0,086	3,193	3,107	30,57	0,0	0	0,00
	45	1600	-149	-0,086	3,134	3,048	29,99	0,0	0	0,00
	50	1600	-144	-0,085	3,074	2,989	29,41	0,0	0	0,00
	56	1600	-138	-0,085	3,003	2,918	180,00	1302,9	0,056	72,96
	60	1600	-134	-0,085	2,956	2,871	28,25	0,0	0	0,00
	65	1600	-129	-0,085	2,897	2,812	27,67	0,0	0	0,00
	140	1600	-54	-0,081	2,008	1,927	18,96	0,0	0	0,00
	145	1600	-49	-0,081	1,949	1,868	18,38	0,0	0	0,00
	150	1600	-44	-0,080	1,890	1,809	17,80	0,0	0	0,00
TRÁM	150	350	-44	-0,080	1,890	1,809	17,80	0,0	0	0,00
	175	350	-19	-0,079	1,593	1,514	14,90	0,0	0	0,00
	200	350	6	-0,078	1,297	1,219	12,00	0,0	0	0,00
	225	350	31	-0,077	1,001	0,924	9,09	0,0	0	0,00
	250	350	56	-0,075	0,705	0,629	6,19	0,0	0	0,00
	275	350	81	-0,074	0,409	0,334	3,29	0,0	0	0,00
	300	350	106	-0,073	0,113	0,040	0,39	0,0	0	0,00
	325	350	131	-0,072	-0,184	-0,255	-2,51	-22,0	0,3375	-7,42
	350	350	156	-0,071	-0,480	-0,550	-5,42	-47,4	0,3625	-17,18
	375	350	181	-0,069	-0,776	-0,845	-8,32	-72,8	0,3875	-28,20
	400	350	206	-0,068	-1,072	-1,140	-11,22	-98,2	0,4125	-40,50
	425	350	231	-0,067	-1,368	-1,435	-14,12	-123,6	0,4375	-54,06
	450	350	256	-0,066	-1,665	-1,730	-15,33	-134,2	0,4625	-62,05
	475	350	281	-0,064	-1,961	-2,025	-15,33	-134,2	0,4875	-65,41
	500	350	306	-0,063	-2,257	-2,320	-15,33	-134,2	0,5125	-68,76
	525	350	331	-0,062	-2,553	-2,615	-15,33	-134,2	0,5375	-72,11
	550	350	356	-0,061	-2,849	-2,910	-15,33	-134,2	0,5625	-75,47
	575	350	381	-0,060	-3,145	-3,205	-15,33	-134,2	0,5875	-78,82
	600	350	406	-0,058	-3,442	-3,500	-15,33	-134,2	0,5875	-78,82

SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 15 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	364,1
-------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-2409	2409

MRd [kNm]
-1404,8

	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
DESKA	0	1600	-310	-0,033	2,153	2,120	20,85	0,0	0	0,00
	5	1600	-305	-0,035	2,123	2,088	20,55	0,0	0	0,00
	45	1600	-265	-0,048	1,887	1,839	18,09	0,0	0	0,00
	50	1600	-260	-0,050	1,857	1,807	17,78	0,0	0	0,00
	56	1600	-254	-0,052	1,822	1,770	180,00	1737,2	0,056	97,28
	60	1600	-250	-0,053	1,798	1,745	17,17	0,0	0	0,00
	150	1600	-160	-0,083	1,266	1,183	11,64	0,0	0	0,00
	150	350	-160	-0,083	1,266	1,183	11,64	0,0	0	0,00
TRÁM	225	350	-85	-0,108	0,823	0,715	7,03	0,0	0	0,00
	250	350	-60	5,744		5,744	1120,00	672,0	0,25	168,00
	275	350	-35	-0,124	0,527	0,403	3,96	0,0	0	0,00
	300	350	-10	-0,133	0,379	0,246	2,42	0,0	0	0,00
	325	350	15	-0,141	0,231	0,090	0,89	0,0	0	0,00
	350	350	40	-0,149	0,083	-0,066	-0,65	-5,7	0,3625	-2,05
	375	350	65	-0,157	-0,064	-0,222	-2,18	-19,1	0,3875	-7,40
	400	350	90	-0,166	-0,212	-0,378	-3,72	-32,5	0,4125	-13,42
	425	350	115	-0,174	-0,360	-0,534	-5,25	-46,0	0,4375	-20,12
	450	350	140	-0,182	-0,508	-0,690	-6,79	-59,4	0,4625	-27,48
	475	350	165	-0,191	-0,656	-0,846	-8,33	-72,9	0,4875	-35,52
	500	350	190	-0,199	-0,804	-1,002	-9,86	-31,1	0,5045	-15,67
	509	350	199	-0,202	-0,857	-1,059	-10,42	-58,3	0,517	-30,15
	525	350	215	-0,207	-0,951	-1,158	-11,40	-99,7	0,5375	-53,61
	550	350	240	-0,215	-1,099	-1,315	-12,93	-113,2	0,5625	-63,66
	575	350	265	-0,224	-1,247	-1,471	-14,47	-126,6	0,5875	-74,38
	600	350	290	-0,232	-1,395	-1,627	-15,33	-134,2	0,6125	-82,18
	625	350	315	-0,240	-1,543	-1,783	-15,33	-134,2	0,6375	-85,53
	650	350	340	-0,248	-1,691	-1,939	-15,33	-134,2	0,6625	-88,89
	675	350	365	-0,257	-1,838	-2,095	-15,33	-134,2	0,6875	-92,24
	700	350	390	-0,265	-1,986	-2,251	-15,33	-134,2	0,7125	-95,59
	725	350	415	-0,273	-2,134	-2,407	-15,33	-134,2	0,7375	-98,95
	750	350	440	-0,281	-2,282	-2,563	-15,33	-134,2	0,7625	-102,30
	775	350	465	-0,290	-2,430	-2,719	-15,33	-134,2	0,7875	-105,66
	800	350	490	-0,298	-2,578	-2,876	-15,33	-134,2	0,8125	-109,01
	825	350	515	-0,306	-2,725	-3,032	-15,33	-134,2	0,8375	-112,36
	850	350	540	-0,315	-2,873	-3,188	-15,33	-134,2	0,8625	-115,72
	875	350	565	-0,323	-3,021	-3,344	-15,33	-134,2	0,8875	-119,07
	900	350	590	-0,331	-3,169	-3,500	-15,33	-134,2	0,8875	-119,07

SPOJITÝ TRÁMOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 20 m

Vzd. neutrální osy od horních vláken [mm]	742,2
-------------------------------------------	-------

FC [kN]	FS [kN]
-2844	2843

MRd [kNm]
-2739,0

DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1600	-502	0,253	4,089	4,342	42,72	0,0	0	0,00
	5	1600	-497	0,250	4,062	4,312	42,42	0,0	0	0,00
	50	1600	-452	0,226	3,814	4,040	39,75	0,0	0	0,00
	56	1600	-446	0,223	3,781	4,004	180,00	2171,5	0,056	121,60
	60	1600	-442	0,221	3,759	3,980	39,16	0,0	0	0,00
	145	1600	-357	0,177	3,290	3,467	34,11	0,0	0	0,00
	150	1600	-352	0,174	3,263	3,437	33,81	0,0	0	0,00
TRÁM	150	400	-352	0,174	3,263	3,437	33,81	0,0	0	0,00
	175	400	-327	0,161	3,125	3,286	32,33	0,0	0	0,00
	200	400	-302	0,148	2,987	3,135	30,85	0,0	0	0,00
	225	400	-277	0,135	2,849	2,984	29,36	0,0	0	0,00
	250	400	-252	5,744		5,744	1120,00	672,0	0,25	168,00
	275	400	-227	0,109	2,574	2,683	26,40	0,0	0	0,00
	700	400	198	-0,113	0,232	0,119	1,17	0,0	0	0,00
	725	400	223	-0,126	0,095	-0,032	-0,31	-3,1	0,7375	-2,29
	750	400	248	-0,139	-0,043	-0,182	-1,79	-17,9	0,7625	-13,68
	775	400	273	-0,152	-0,181	-0,333	-3,28	-32,8	0,7875	-25,81
	800	400	298	-0,166	-0,318	-0,484	-4,76	-47,6	0,8125	-38,69
	825	400	323	-0,179	-0,456	-0,635	-6,25	-62,5	0,8375	-52,30
	850	400	348	-0,192	-0,594	-0,786	-7,73	-77,3	0,8625	-66,66
	875	400	373	-0,205	-0,732	-0,936	-9,21	-92,1	0,8875	-81,76
	900	400	398	-0,218	-0,869	-1,087	-10,70	-107,0	0,8875	-94,93
	925	400	423	-0,231	-1,007	-1,238	-12,18	-121,8	0,9125	-111,14
	950	400	448	-0,244	-1,145	-1,389	-13,66	-136,6	0,9375	-128,10
	975	400	473	-0,257	-1,283	-1,540	-15,15	-151,5	0,9625	-145,79
	1000	400	498	-0,270	-1,420	-1,690	-15,33	-153,3	0,9875	-151,42
	1025	400	523	-0,283	-1,558	-1,841	-15,33	-153,3	1,0125	-155,25
	1050	400	548	-0,296	-1,696	-1,992	-15,33	-153,3	1,0375	-159,08
	1075	400	573	-0,309	-1,834	-2,143	-15,33	-153,3	1,0625	-162,92
	1100	400	598	-0,322	-1,971	-2,294	-15,33	-153,3	1,0875	-166,75
	1125	400	623	-0,335	-2,109	-2,444	-15,33	-153,3	1,1125	-170,58
	1150	400	648	-0,348	-2,247	-2,595	-15,33	-153,3	1,1375	-174,42
	1175	400	673	-0,362	-2,384	-2,746	-15,33	-153,3	1,1625	-178,25
	1200	400	698	-0,375	-2,522	-2,897	-15,33	-153,3	1,1875	-182,08
	1225	400	723	-0,388	-2,660	-3,048	-15,33	-153,3	1,2125	-185,92
	1250	400	748	-0,401	-2,798	-3,198	-15,33	-153,3	1,2375	-189,75
	1275	400	773	-0,414	-2,935	-3,349	-15,33	-153,3	1,2625	-193,58
	1300	400	798	-0,427	-3,073	-3,500	-15,33	-153,3	1,2875	-197,42

Následuje shrnutí výsledků momentu únosnosti v čase vnesení předpětí

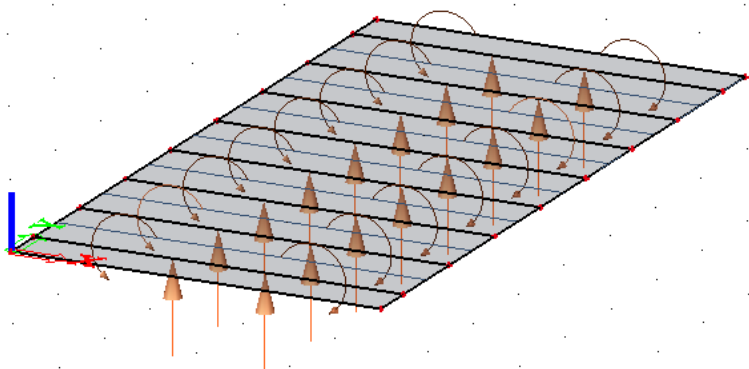
Shrnutí výsledků : zesílení externím předpětím - spojité trávy			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
$M_{Rd}$ [kNm]	-575,8	-1404,8	-2739,0

Na konci životnosti vychází:

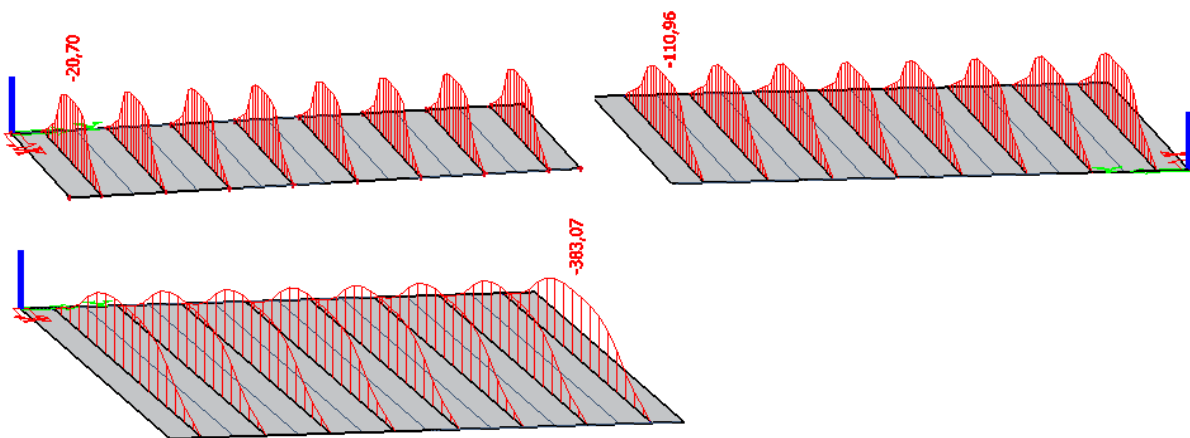
Shrnutí výsledků : zesílení externím předpětím - spojité trávy			
rozpětí [m]	10+10	15+15	20+20
$M_{Rd}$ [kNm]	-574,5	-1418,3	-2786,0

## 8.4 Deskové mosty

Kabely předpětí nelze u deskových mostů zakotvit v jádru průřezu jako tomu je u prostých trémových mostů. Kotvy nesmí být umístěny u podpory z důvodu malého ohybového momentu od vlastní tíhy. Kotvy vyvozují momenty kvůli excentricitě, jak je znázorněno na příkladu zatížení desky:



Průběh momentů od předpětí je následující



Vstupní parametry pro výpočet

Zesílení externím předpětím			
rozpětí [m]	4	8	12
<b>M<sub>g</sub> [kNm]</b>	20,72	114,85	371,57
<b>N<sub>p<sub>in</sub></sub> [kN]</b>	25	75,00	210
<b>σ<sub>p</sub> [MPa]</b>	333,3	1000,0	1400,0
<b>N<sub>P<sub>VP</sub></sub> [kN]</b>	22,5	67,5	189
<b>N<sub>P<sub>KŽ</sub></sub> [kN]</b>	20	60	168
<b>e<sub>p</sub> [m]</b>	-0,35	-0,675	-1,05
<b>M<sub>p<sub>VP</sub></sub> [kNm]</b>	-20,7	-111,0	-383,1
<b>M<sub>p<sub>KŽ</sub></sub> [kNm]</b>	-18,4	-98,7	-333,1
<b>α [rad]</b>	0,4115	0,4228	0,3367
<b>F<sub>dev,VP</sub> [kNm]</b>	9,00	27,70	62,44
<b>F<sub>dev,KŽ</sub> [kNm]</b>	8,00	24,62	55,50
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	300000	450000	700000
<b>I<sub>y</sub> [mm<sup>4</sup>]</b>	2,25E+09	7,59E+09	2,86E+10
<b>h [mm]</b>	300	450	700
<b>e<sub>zh</sub> [mm]</b>	-150	-225	-350
<b>A<sub>p</sub> [mm<sup>2</sup>]</b>	75	75	150
<b>A<sub>s</sub> [mm<sup>2</sup>]</b>	2827	4398	6902

## DESKOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 4 m

Poloha neutrální osy od  
horních vláken [mm]

40,6

FC [kN]

-530

FS [kN]

531

MRd [kNm]

129,1

DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1000	-150	-0,056	-3,444	-3,500	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-145	-0,056	-3,020	-3,076	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-140	-0,056	-2,596	-2,652	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-135	-0,056	-2,172	-2,228	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-130	-0,056	-1,747	-1,803	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-125	-0,056	-1,323	-1,379	-13,57	-67,8	0,0275	-1,87
	30	1000	-120	-0,056	-0,899	-0,955	-9,40	-47,0	0,0325	-1,53
	35	1000	-115	-0,056	-0,475	-0,531	-5,22	-26,1	0,0375	-0,98
	40	1000	-110	-0,056	-0,051	-0,107	-1,05	-5,3	0,0425	-0,22
	45	1000	-105	-0,056	0,373	0,317	3,12	0,0	0	0,00
	50	1000	-100	-0,056	0,797	0,742	7,30	0,0	0	0,00
	55	1000	-95	-0,056	1,221	1,166	11,47	0,0	0	0,00
	60	1000	-90	-0,056	1,646	1,590	15,64	0,0	0	0,00
	65	1000	-85	-0,056	2,070	2,014	19,82	0,0	0	0,00
	170	1000	20	-0,055	10,976	10,921	107,45	0,0	0	0,00
	175	1000	25	-0,055	11,401	11,346	111,63	0,0	0	0,00
	180	1000	30	-0,055	11,825	11,770	115,80	0,0	0	0,00
	185	1000	35	-0,055	12,249	12,194	119,97	0,0	0	0,00
	190	1000	40	-0,055	12,673	12,618	124,15	0,0	0	0,00
	195	1000	45	-0,055	13,097	13,042	128,32	0,0	0	0,00
	200	1000	50	-0,055	13,521	13,466	132,49	0,0	0	0,00
	225	1000	75	-0,055	15,642	15,587	153,36	0,0	0	0,00
	250	1000	100	-0,054	17,762	17,708	180,00	508,9	0,25	127,23
	275	1000	125	-0,054	19,883	19,829	195,09	0,0	0	0,00
	300	1000	150	-0,054	22,004	21,950	215,96	0,0	0	0,00
	500			1,538		1,538	300,00	22,5	0,5	11,25

## DESKOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 8 m

Poloha neutrální osy od  
horních vláken [mm]

65,5

FC [kN]

-859

FS [kN]

859

MRd [kNm]

337,6

DESKA	x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
	0	1000	-225	-0,195	-3,305	-3,500	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
	5	1000	-220	-0,193	-3,053	-3,246	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
	10	1000	-215	-0,191	-2,800	-2,992	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
	15	1000	-210	-0,189	-2,548	-2,737	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
	20	1000	-205	-0,187	-2,296	-2,483	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
	25	1000	-200	-0,186	-2,044	-2,229	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
	30	1000	-195	-0,184	-1,791	-1,975	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
	35	1000	-190	-0,182	-1,539	-1,721	-15,33	-76,7	0,0375	-2,88
	40	1000	-185	-0,180	-1,287	-1,467	-14,43	-72,1	0,0425	-3,07
	45	1000	-180	-0,178	-1,034	-1,212	-11,93	-59,6	0,0475	-2,83
	50	1000	-175	-0,176	-0,782	-0,958	-9,43	-47,1	0,0525	-2,47
	55	1000	-170	-0,174	-0,530	-0,704	-6,93	-34,6	0,0575	-1,99
	60	1000	-165	-0,172	-0,278	-0,450	-4,43	-22,1	0,0625	-1,38
	65	1000	-160	-0,170	-0,025	-0,196	-1,93	-9,6	0,0675	-0,65
	70	1000	-155	-0,169	0,227	0,058	0,58	0,0	0	0,00
	75	1000	-150	-0,167	0,479	0,313	3,08	0,0	0	0,00
	80	1000	-145	-0,165	0,732	0,567	5,58	0,0	0	0,00
	85	1000	-140	-0,163	0,984	0,821	8,08	0,0	0	0,00
	90	1000	-135	-0,161	1,236	1,075	10,58	0,0	0	0,00
	200	1000	-25	-0,120	6,787	6,667	65,60	0,0	0	0,00
	225	1000	0	-0,110	8,048	7,938	78,10	0,0	0	0,00
	250	1000	25	-0,101	9,310	9,209	90,60	0,0	0	0,00
	275	1000	50	-0,091	10,571	10,480	103,11	0,0	0	0,00
	300	1000	75	-0,082	11,833	11,751	115,61	0,0	0	0,00
	325	1000	100	-0,073	13,094	13,022	128,12	0,0	0	0,00
	350	1000	125	-0,063	14,356	14,292	140,62	0,0	0	0,00
	375	1000	150	-0,054	15,617	15,563	153,12	0,0	0	0,00
	400	1000	175	-0,044	16,879	16,834	180,00	791,7	0,4	316,67
	425	1000	200	-0,035	18,140	18,105	178,13	0,0	0	0,00
	450	1000	225	-0,026	19,402	19,376	190,64	0,0	0	0,00
	675			4,615		4,615	900,00	67,5	0,675	45,56



## DESKOVÝ MOST - ROZPĚTÍ 12 m

Poloha neutrální osy od  
horních vláken [mm]

112,5

FC [kN]

-1431

FS [kN]

1431

MRd [kNm]

933,8

DESKA

x [mm]	b [mm]	ez [mm]	$\epsilon_{in}$ [‰]	$\Delta\epsilon$ [‰]	$\epsilon$ [‰]	$\sigma$ [MPa]	F [kN]	rc / rs [m]	Mc / Ms [kNm]
0	1000	-350	-0,095	-3,405	-3,500	-15,33	-76,7	0,0025	-0,19
5	1000	-345	-0,096	-3,254	-3,350	-15,33	-76,7	0,0075	-0,58
10	1000	-340	-0,098	-3,102	-3,200	-15,33	-76,7	0,0125	-0,96
15	1000	-335	-0,099	-2,951	-3,050	-15,33	-76,7	0,0175	-1,34
20	1000	-330	-0,101	-2,800	-2,901	-15,33	-76,7	0,0225	-1,73
25	1000	-325	-0,102	-2,648	-2,751	-15,33	-76,7	0,0275	-2,11
30	1000	-320	-0,104	-2,497	-2,601	-15,33	-76,7	0,0325	-2,49
35	1000	-315	-0,105	-2,346	-2,451	-15,33	-76,7	0,0375	-2,88
40	1000	-310	-0,107	-2,194	-2,301	-15,33	-76,7	0,0425	-3,26
45	1000	-305	-0,108	-2,043	-2,151	-15,33	-76,7	0,0475	-3,64
50	1000	-300	-0,110	-1,892	-2,001	-15,33	-76,7	0,0525	-4,03
55	1000	-295	-0,111	-1,740	-1,852	-15,33	-76,7	0,0575	-4,41
60	1000	-290	-0,113	-1,589	-1,702	-15,33	-76,7	0,0625	-4,79
65	1000	-285	-0,114	-1,438	-1,552	-15,27	-76,3	0,0675	-5,15
70	1000	-280	-0,116	-1,286	-1,402	-13,79	-69,0	0,0725	-5,00
75	1000	-275	-0,117	-1,135	-1,252	-12,32	-61,6	0,0775	-4,77
80	1000	-270	-0,119	-0,984	-1,102	-10,84	-54,2	0,0825	-4,47
85	1000	-265	-0,120	-0,832	-0,952	-9,37	-46,9	0,0875	-4,10
90	1000	-260	-0,122	-0,681	-0,803	-7,90	-39,5	0,0925	-3,65
95	1000	-255	-0,123	-0,530	-0,653	-6,42	-32,1	0,0975	-3,13
100	1000	-250	-0,124	-0,378	-0,503	-4,95	-24,7	0,1025	-2,54
105	1000	-245	-0,126	-0,227	-0,353	-3,47	-17,4	0,1075	-1,87
110	1000	-240	-0,127	-0,076	-0,203	-2,00	-10,0	0,1125	-1,12
115	1000	-235	-0,129	0,076	-0,053	-0,52	-2,6	0,1175	-0,31
120	1000	-230	-0,130	0,227	0,097	0,95	0,0	0	0,00
125	1000	-225	-0,132	0,378	0,246	2,42	0,0	0	0,00
130	1000	-220	-0,133	0,530	0,396	3,90	0,0	0	0,00
135	1000	-215	-0,135	0,681	0,546	5,37	0,0	0	0,00
140	1000	-210	-0,136	0,832	0,696	6,85	0,0	0	0,00
525	1000	175	-0,250	12,485	12,235	120,38	0,0	0	0,00
550	1000	200	-0,258	13,242	12,984	127,75	0,0	0	0,00
575	1000	225	-0,265	13,999	13,734	135,12	0,0	0	0,00
600	1000	250	-0,272	14,755	14,483	142,49	0,0	0	0,00
625	1000	275	-0,280	15,512	15,232	149,87	0,0	0	0,00
647	1000	297	-0,286	16,178	15,892	180,00	1242,4	0,647	803,82
650	1000	300	-0,287	16,269	15,982	157,24	0,0	0	0,00
675	1000	325	-0,294	17,025	16,731	164,61	0,0	0	0,00
700	1000	350	-0,302	17,782	17,480	171,98	0,0	0	0,00
1050			6,462		6,462	1260,00	189,0	1,05	198,45

Následuje shrnutí výsledků momentu únosnosti v čase vnesení předpětí

Shrnutí výsledků : zesílení externím předpětím - deskové mosty			
rozpětí [m]	4	8	12
$M_{Rd}$ [kNm]	129,1	337,6	933,8

Na konci životnosti

Shrnutí výsledků : zesílení externím předpětím - deskové mosty			
rozpětí [m]	4	8	12
$M_{Rd}$ [kNm]	127,9	332,9	913,6

## 8.5 Rámové mosty

Rámové mosty nejsou vhodné k zesilování předpětím. Při předpětí dochází ke zkracování předpínaného prvku (mostovky). Zkrácení v případě rámu brání stojky, které by se musely deformovat zároveň s mostovkou. Tím by bylo vnášeno velké zatížení do stávající spodní stavby mostu, což je nežádoucí. Zesílení předpětím by u rámových mostů bylo možné pouze tehdy, pokud by byly stojky dostatečně dlouhé a poddajné.

## 9. Výsledky: Porovnání zatížitelností

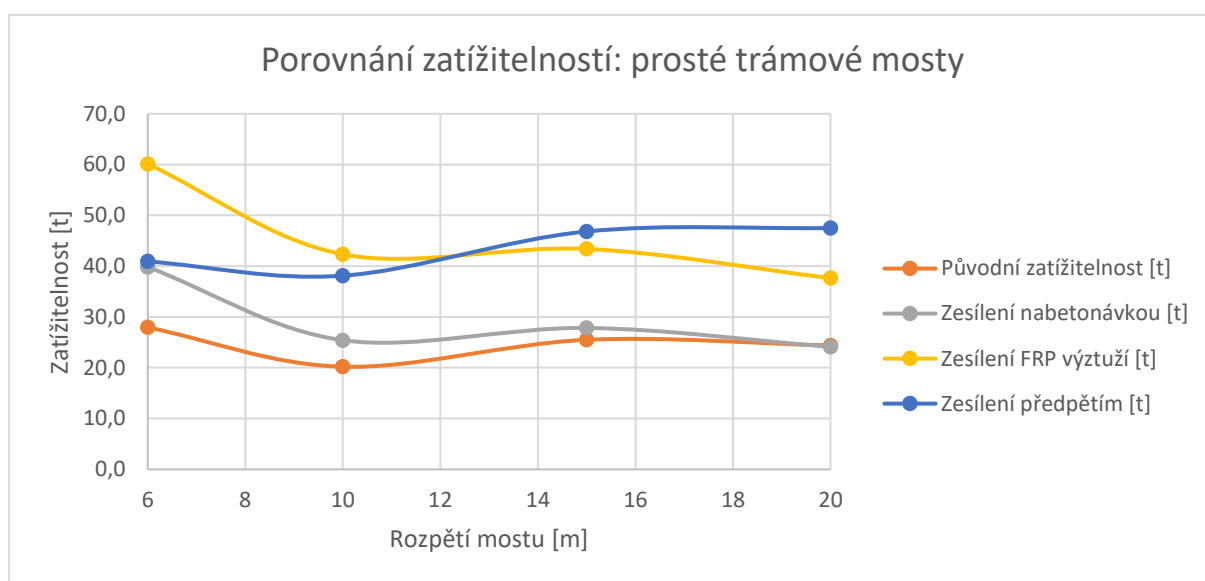
Nakonec je zapotřebí spočítat zatížitelnosti pro všechny konstrukce po jejich zesílení. Zatížitelnost jako taková byla již v této práci řešena. Všechny použité vzorce byly napsány a objasněny. Momenty od proměnného zatížení podle ČSN EN 73 6222 zůstanou stejné, bude se měnit pouze  $M_{Rd}$  a  $M_g$ , tedy moment únosnosti s moment od vlastní tíhy, v případě nabetonávky. Dále se určí moment únosnosti připadající na pohyblivé zatížení, a nakonec maximální hmotnost automobilu. Pro lepší přehlednost nebudou uvedeny výpočty, ale pouze výsledné zatížitelnosti po zesílení.

### 9.1 Trámové mosty – prostý nosník

Zde budou shrnuty výsledky jak původní zatížitelnosti, tak i zatížitelnosti po aplikaci jednotlivých zesílení.

Normální zatížitelnost prostých trámových mostů				
Výsledná zatížitelnost				
rozpětí [m]	6	10	15	20
Původní zatížitelnost [t]	27,9	20,2	25,5	24,4
Zesílení nabetonávkou [t]	39,8	25,4	27,8	24,1
Zesílení FRP výztuží [t]	60,1	42,3	43,4	37,6
Zesílení předpětím [t]	40,9	38,1	46,8	47,5

Znázornění na grafu:



**Zesílení nabetonávkou** je efektivní na menší rozpětí. Se zvyšujícím rozpětím se zatížitelnost blíží k původní zatížitelnosti před zesílením. Důvodem je to, že betonová deska přitěžuje konstrukci stále stejným zatížením, ale u větších rozpětí se efektivní výška průřezu ( $d$ ) zvětší procentuálně o menší hodnotu. Při rozpětí 20 m dochází dokonce k mírnému snížení zatížitelnosti. Nabetonávka je celkově nejméně účinným zesílením.

**Zesílení lepenou FRP výztuží** je ze všech variant nejúčinnější při malém rozpětí. Její účinnost s rozpětím mírně klesá, ale na rozdíl od nabetonávky se ani při velkém rozpětí nepřibližuje k původní zatížitelnosti. Je tedy v celku efektivní pro všechna rozpětí.

**Zesílení externím předpětím** není příliš vhodné pro mosty krátkých rozpětí, za to vykazuje nejvyšší zatížitelnost pro mosty nejdelší. Na výše uvedeném grafu

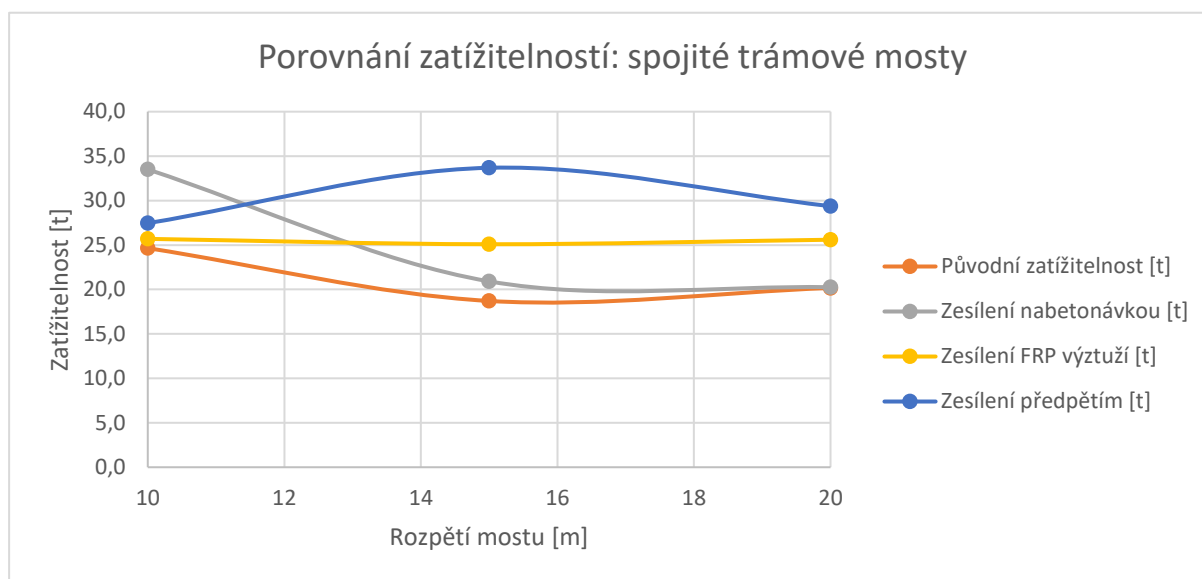
je vidět, že se při rozpětí cca 12,5 m protínají spojnice FRP výztuže a předpětí. Je to rozpětí, od kterého je lepší volit zesílení předpětím, oproti FRP výztuži.

## 9.2 Trámové mosty – spojitý nosník

Zatížitelnosti spojitého nosníku je třeba rozdělit na dvě části: v poli a nad podporou. Celková zatížitelnost mostu je pak minimem z těchto dvou hodnot. Jestliže není možné nějakou technologií zvýšit zatížitelnost, bude uvažována původní. Zatížitelnosti vychází následovně:

Normální zatížitelnost spojitých trámových mostů			
V poli			
rozpětí [m]	10 + 10	15 + 15	20 + 20
Původní zatížitelnost [t]	24,6	18,7	20,2
Zesílení nabetonávkou [t]	33,5	20,9	20,3
Zesílení FRP výztuží [t]	45,6	37,2	37,7
Zesílení předpětím [t]	32,7	35,0	29,4
Nad podporou			
Původní zatížitelnost [t]	25,7	25,1	25,6
Zesílení nabetonávkou [t]	39,4	42,8	68,7
Zesílení FRP výztuží [t]	-	-	-
Zesílení předpětím [t]	27,5	33,7	40,6
Výsledná zatížitelnost			
Původní zatížitelnost [t]	24,6	18,7	20,2
Zesílení nabetonávkou [t]	33,5	20,9	20,3
Zesílení FRP výztuží [t]	25,7	25,1	25,6
Zesílení předpětím [t]	27,5	33,7	29,4

**Znázornění na grafu:**



**Zesílení nabetonávkou** je ze všech technologií neúčinnější pro malá rozpětí. S rostoucím rozpětím zatížitelnost klesá jako je tomu u prostých trémových mostů. Při rozpětí cca 20 m je rozdíl zatížitelností původní a po zesílení téměř nulový. Na vině je opět velká tíha betonové desky.

**Zesílení lepenou FRP výztuží** je pro malá rozpětí nevhodná. Při větších rozpětích efektivita roste, přibližně v rozpětí 13 m se stává účinnější než nabetonovaná deska. Z výše uvedené tabulky je vidět, že v poli má sice FRP výztuž nejvyšší zatížitelnost ze všech, ale nad podporou konstrukci nezesílí. Zatížitelnost je proto limitována původní zatížitelností nad podporou.

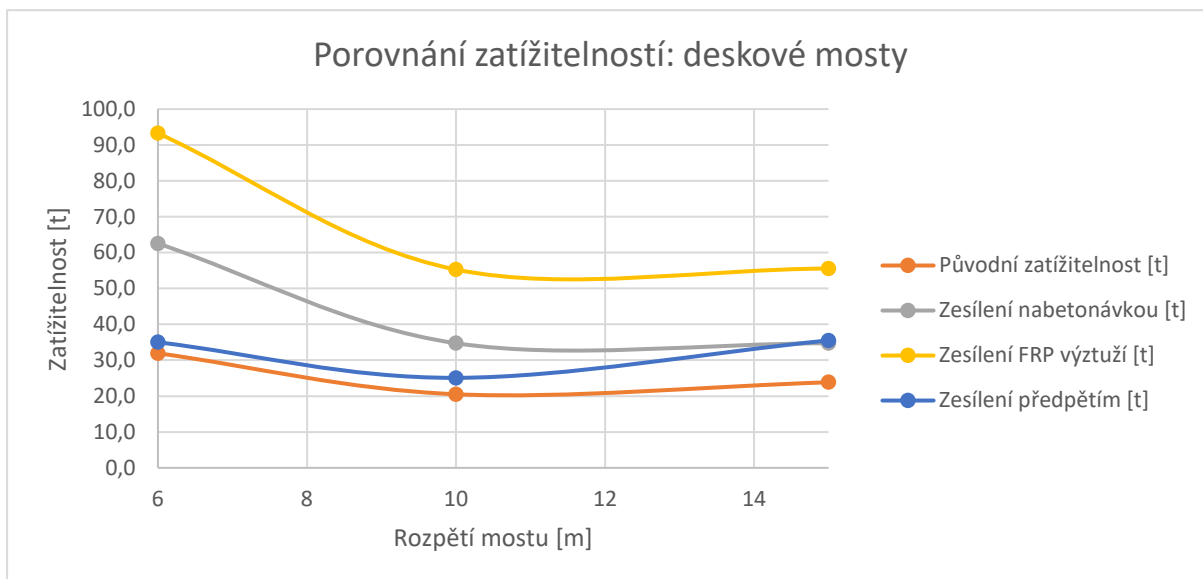
**Zesílení externím předpětím** je stejně jako u prostých trémových mostů neefektivní pro malá rozpětí. Při rozpětí nad 11,5 m se pak stává neúčinnější technologií zesílení ze všech.

### 9.3 Deskové mosty

Zde budou shrnuty výsledky jak původní zatížitelnosti, tak i zatížitelnosti po aplikaci jednotlivých zesílení.

Normální zatížitelnost deskových mostů			
Výsledná zatížitelnost			
rozpětí [m]	6	10	15
Původní zatížitelnost [t]	31,9	20,5	23,9
Zesílení nabetonávkou [t]	62,5	34,7	34,7
Zesílení FRP výztuží [t]	93,3	55,3	55,5
Zesílení předpětím [t]	35,0	25,1	35,5

Znázornění na grafu:



**Zesílení nabetonávkou** je jako u předchozích variant mostů vhodné pro malá rozpětí. V případě deskových mostů je nezanedbatelné také zvýšení únosnosti při větším rozpětí. Důvodem je to, že deskové mosty mají menší konstrukční výšku než trémové mosty. Proto je nabetonávka efektivní i pro větší rozpětí.

**Zesílení lepenou FRP výztuží** je pro všechna rozpětí zdaleka nejúčinnější ze všech uvažovaných technologií.

**Zesílení externím předpětím** je pro deskové mosty celkově nevhodné, až při velkém rozpětí se přibližuje nabetonované desce. Vzhledem k náročnosti provedení a malé účinnosti je to nevhodný typ zesílení pro deskové mosty.

## 9.4 Rámové mosty

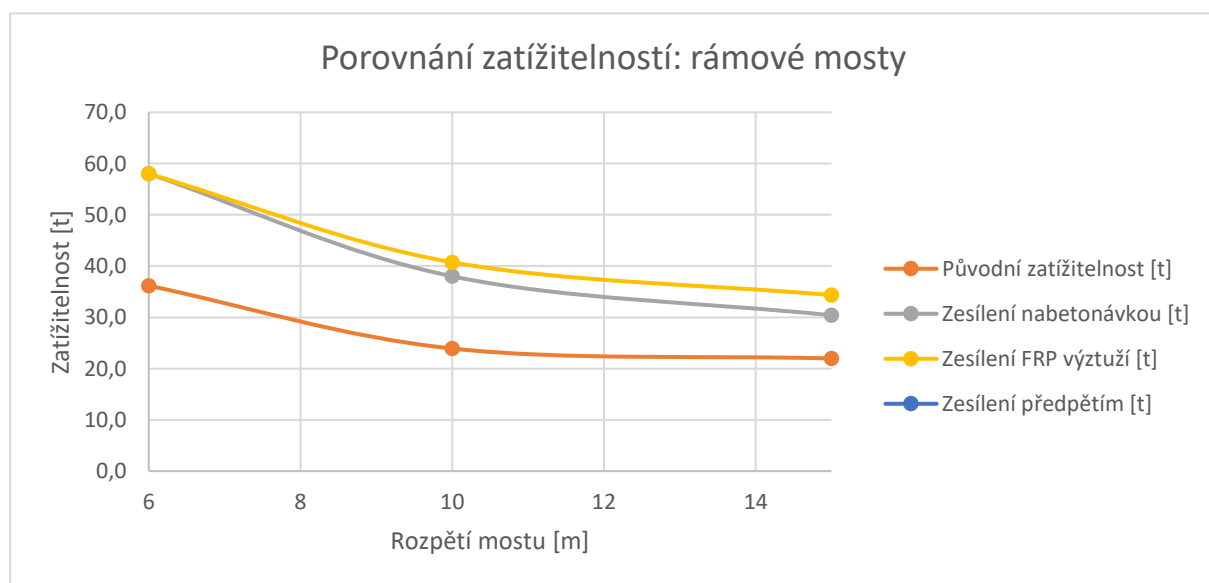
Zatížitelnosti rámových konstrukcí je třeba rozdělit na dvě části: v poli a v rohu. Celková zatížitelnost mostu je pak minimem z těchto dvou hodnot. Jestliže

není možné nějakou technologií zvýšit zatížitelnost, bude uvažována původní.

Zatížitelnosti vychází následovně:

Normální zatížitelnost spojitých trámových mostů			
V poli			
rozpětí [m]	6	10	15
Původní zatížitelnost [t]	36,2	23,9	22,0
Zesílení nabetonávkou [t]	66,3	38,0	30,4
Zesílení FRP výztuží [t]	126,0	67,4	57,7
Zesílení předpětím [t]	-	-	-
V rohu			
Původní zatížitelnost [t]	58,0	40,7	34,3
Zesílení nabetonávkou [t]	-	-	-
Zesílení FRP výztuží [t]	-	-	-
Zesílení předpětím [t]	-	-	-
Výsledná zatížitelnost			
Původní zatížitelnost [t]	36,2	23,9	22,0
Zesílení nabetonávkou [t]	58,0	38,0	30,4
Zesílení FRP výztuží [t]	58,0	40,7	34,3
Zesílení předpětím [t]	36,2	23,9	22,0

Z tabulky je zřejmé, že únosnost v rohu nezvyšuje ani jedna z uvažovaných technologií. V textu práce bylo již uvedeno, že by se tento problém dal vyřešit například uříznutím mostovky v úrovni opěr a vložením ložisek. Touto možností se však práce nezabývá a je uvedena jen pro příklad. Původní zatížitelnost v rohu je ale podstatně vyšší než v poli. Pokud zvýšíme zatížitelnost v poli, zvýší se i celková zatížitelnost, která bude ovšem ohraničena zatížitelností v rohu.



**Zesílení nabetonávkou** je poměrně účinné pro všechna rozpětí, i když pro větší rozpětí již v menší míře.

**Zesílení lepenou FRP výztuží** je nejefektivnější pro všechna rozpětí. Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že zatížitelnost odpovídá zatížitelnosti v rohu – což je maximální možná hodnota.

**Zesílení externím předpětím** nebylo aplikováno na rámové mosty, protože by negativně ovlivňovalo spodní stavbu mostu a bylo by velice obtížné předpětí vůbec aktivovat.

## 10. Závěr

Cílem práce bylo popsat a vyhodnotit základní metody zesilování mostních konstrukcí. Základní metody byly uvažovány následující:

- Nabetonovaná deska
- Lepená FRP výztuž
- Externí předpětí

Všechny tyto metody byly v rešerši popsány a jejich aplikace stručně vysvětleny. Výhody i nevýhody jednotlivých metod byly shrnuty.

Uvedené metody byly aplikovány na typické mosty různých rozpětí, které byly navrženy podle ČSN 1230 – 1937 "Jednotný mostní řád". Typické mosty byly rozděleny do 4 skupin:

- Prosté trémové mosty
- Spojité trémové mosty
- Deskové mosty
- Rámové mosty

Na typické mosty byly aplikovány všechny základní metody zesilování. Byla určena normální zatížitelnost před, i po jejich zesílení. Zesílení byla porovnána pro každý typ mostů zvlášť. Výstupem je vyhodnocení efektivity zesílení v závislosti na rozpětí mostních konstrukcí.

Z výsledků vyplynuly následující skutečnosti:

Zesílení nabetonovanou deskou je vhodné spíše pro malá rozpětí všech typů mostů. Při velkých rozpětích může zatížitelnost i snížit. Výhodou je možnost poměrně efektivního zesílení nad podporou spojitých nosníků.



Zesílení lepenou FRP výztuží je velice efektivní metodou, zejména u mostů deskových a rámových. Téměř vždy vykazuje vyšší únosnost než nabetonovaná deska. Zesílení FRP výztuží však není příliš vhodné na spojitě nosníky, jelikož touto metodou nelze efektivně zesílit průřez nad podporou.

Zesílení externím předpětím je obecně nevhodné pro mosty krátkých rozpětí. Zcela nevhodné je pro rámové mosty, u kterých je předpětí téměř nerealizovatelné. Nejlepší výsledky vykazuje pro delší trémové mosty, a to jak prosté, tak i spojitě.

### **Návrh dalších prací:**

Další možné práce by se mohly zaměřit na jiné příčné a podélné uspořádání mostů a rozšířit tak výsledky této práce. Dále by bylo možné zjistit alternativní možnosti zesilování rámových rohů, které nebyly v práci zesíleny. Posledním návrhem na další práce je ekonomické zhodnocení jednotlivých variant zesílení.

## Seznam použité literatury

- [1] MENŠÍK, František a Hana DUŠKOVÁ. Stav silničních a dálničních mostů ČR. *Časopis Stavebnictví* [online]. 2007(09) [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/>
- [2] *Odborný seminář mostních inženýrů: Žďár nad Sázavou, 9. - 10. 11. 2017.* 2017.
- [3] ČSN EN 1992-1-1 – Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] EN 1992-1-1 – Eurocode 2: Design on concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2017.
- [5] Smršťování betonu. *EBETON* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu>
- [6] ČSN 73 0038: Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách
- [7] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [8] Melk bridge Winden – Strengthening. In: *FCP* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <http://www.fcp.at/en/projects/melk-bridge-winden-strengthening>
- [9] Zesilování stavebních konstrukcí dodatečně lepenou kompozitní výztuží. *Časopis Stavebnictví* [online]. 2008, 06/08 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: [https://www.casopisstavebnictvi.cz/zesilovani-stavebnich-konstrukci-dodatecne-lepenou-kompozitni-vyztuzi\\_N1126](https://www.casopisstavebnictvi.cz/zesilovani-stavebnich-konstrukci-dodatecne-lepenou-kompozitni-vyztuzi_N1126)
- [10] BENKO, Vladimír a spol. *Navrhování betonových konstrukcí s FRP výztuží*. Brno, srpen 2017. Vysoké Učení Technické v Brně.
- [11] *Shot blasting: Shot blasting of concrete floors* [online]. [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.htc-floorsystems.com/en/FloorSolutions/HTCSuperprep/ShotBlasting.aspx>
- [12] ČSN 73 0038 – Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách. 1986.
- [13] ČSN 1230 – Jednotný mostní řád. 1937.

- [14] ČSN 73 6222 – Zatížitelnost pozemních komunikací. 2013.
- [15] TP 200 – Stanovení zatížitelnosti mostů PK navržených podle norem a předpisů platných před účinností EN. 2009.
- [16] fib (2007) FRP Reinforcement in RC Structures. fib Task Group 9.3, Lausanne, fib bulletin 40, pp. 1–147
- [17] CAN/CSA-S806-12 (2012) "Design and Construction of Building Components with Fibre- Reinforced Polymers" Canadian Standards Association

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - součinitelé drsnosti [4].....	- 4 -
Tabulka 2 - přehled vlastností jednotlivých kompozitů [10].....	- 13 -
Tabulka 3 - alternativy proměnného zatížení dle ČSN 1230 .....	- 18 -

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - styčné plochy [4] .....	- 4 -
Obrázek 2 – smršťování betou [5].....	- 5 -
Obrázek 3 - příprava povrchu.....	- 6 -
Obrázek 4 - předpětí [7].....	- 7 -
Obrázek 5 - externí předpětí příklad [8] .....	- 9 -
Obrázek 6 - externí předpětí příklad 2 .....	- 9 -
Obrázek 7 - mikrostruktura FRP výztuže [9] .....	- 11 -
Obrázek 8 - aramidové tyče [9] .....	- 12 -
Obrázek 9 - sklolaminátové tyče [9].....	- 12 -
Obrázek 10 - výztužné uhlíkové lamely [9] .....	- 13 -
Obrázek 11 - uhlíkové tyče [9].....	- 13 -
Obrázek 12 - úpravy povrchu betonu [11] .....	- 14 -
Obrázek 13 - prostý trámový most, rozpětí 6 m .....	- 16 -
Obrázek 14 - prostý trámový most, rozpětí 10 m.....	- 16 -
Obrázek 15 - prostý trámový most, rozpětí 15 m.....	- 16 -
Obrázek 16 - prostý trámový most, rozpětí 20 m.....	- 16 -
Obrázek 17 - příčný roznos .....	- 19 -
Obrázek 18 - schémata proměnného zatížení s uvážením příčného roznosu-	20 -

Obrázek 19 - trémové mosty - výztuž.....	- 25 -
Obrázek 20 - spojitý trám, rozpětí 10 + 10 m .....	- 27 -
Obrázek 21 - spojitý trám, rozpětí 15 + 15 m .....	- 27 -
Obrázek 22 - spojitý trám, rozpětí 20 + 20 m .....	- 27 -
Obrázek 23 - průřezy v poli.....	- 35 -
Obrázek 24 - průřezy nad podporou .....	- 39 -
Obrázek 25 - deskový most, rozpětí 4 m.....	- 40 -
Obrázek 26 - deskový most, rozpětí 8 m.....	- 40 -
Obrázek 27 - deskový most, rozpětí 12 m .....	- 41 -
Obrázek 28 - schémata zatížení.....	- 42 -
Obrázek 29- stálé zatížení, deskové mosty .....	- 43 -
Obrázek 30 - momenty od pohyblivých zatížení – deska rozpětí 4 m .....	- 43 -
Obrázek 31 - momenty od pohyblivých zatížení - deska rozpětí 8 m .....	- 43 -
Obrázek 32 - momenty od pohyblivých zatížení - deska rozpětí 12 m.....	- 44 -
Obrázek 33 - průřezy deskových mostů.....	- 46 -
Obrázek 34 - rámový most, rozpětí 4 m .....	- 47 -
Obrázek 35 - rámový most, rozpětí 8 m .....	- 48 -
Obrázek 36 - rámový most, rozpětí 12 m.....	- 48 -
Obrázek 37 - momenty od pohyblivých zatížení - rám, rozpětí 4 m .....	- 51 -
Obrázek 38 - momenty od pohyblivých zatížení - rám, rozpětí 8 m .....	- 51 -
Obrázek 39 - momenty od pohyblivých zatížení - rám, rozpětí 12 m.....	- 52 -
Obrázek 40 - průřezy v poli.....	- 55 -
Obrázek 41 - průřezy v rohu .....	- 57 -
Obrázek 42 - Zatěžovací schéma dvou a třínápravy [14] .....	- 59 -
Obrázek 43 - momenty od 3NV.....	- 61 -
Obrázek 44 - momenty od 2NV.....	- 61 -